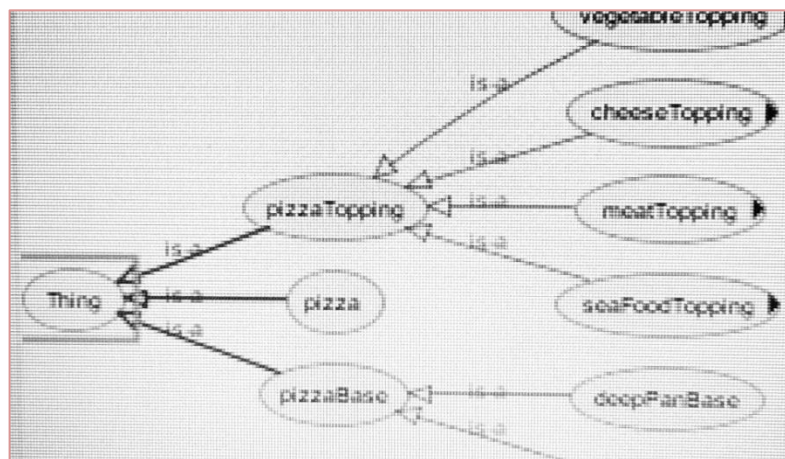




# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

## ΤΥΠΙΚΕΣ ΟΝΤΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ ΦΡΑΝΤΣΕΣΚΟ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Π.ΣΤΕΦΑΝΕΑΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΜΠ



Στην Αργυρώ

## **Περίληψη**

Το κύριο θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της αναπαράστασης γνώσεων και πληροφοριών. Από την μία πλευρά, εξετάζονται κάποιες θεωρητικές προσεγγίσεις, όπως οι θεωρίες της Εννοιολογική Μίξης (Conceptual Blending) και της Αλγεβρικής Σημειωτικής (Algebraic Semiotics). Από την άλλη πλευρά, περιγράφονται τυποποιήσεις βάσεων γνώσης από την σκοπιά των Τυπικών Οντολογιών (Formal Ontologies).

Τα θέματα τα οποία παρουσιάζονται στην εργασία αυτή αποτελούν αντικείμενο πολλών επιστημών, όπως η Φιλοσοφία, η Τεχνητή Νοημοσύνη, τα Μαθηματικά, η Ψυχολογία κ.α. Η τομή όλων αυτών των επιστημονικών πεδίων, για τα συγκεκριμένα θέματα, φέρει τον τίτλο Γνωσιακή Επιστήμη (Cognitive Science). Στην παρούσα εργασία εστιάζουμε στα θέματα αυτά κυρίως από την σκοπιά των Μαθηματικών και της Τεχνητής Νοημοσύνης. Παράλληλα, καταδεικνύεται η σημασία τους στην ανάπτυξη του Σημασιολογικού Δικτύου (Semantic Web).

Στο τελευταίο κεφάλαιο επιχειρείται η εφαρμογή της Εννοιολογικής Μίξης με τη βοήθεια οντολογιών γραμμένων στη γλώσσα OWL (Web Ontology Language). Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται μία υποθετική κατάσταση στην οποία θέλουμε να εκθέσουμε σε κάποιον φυσικό χώρο περιεχόμενο τέχνης διαφόρων μορφών (ποίηση, ζωγραφική, μουσική). Την υπόθεση αυτή ονομάζουμε Πολυμεσική Έκθεση (Multimedia Exhibition). Έτσι καταδεικνύεται η ανάγκη ύπαρξης ενός εργαλείου για την επιλογή αυτού του περιεχομένου. Στη συνέχεια περιγράφεται πώς η ανάπτυξη βάσεων δεδομένων με τη μορφή οντολογιών θα βοηθούσε σε μία τέτοια περίπτωση.

# ***Abstract***

The main subject of this thesis is research related to representation of knowledge and information. On the one hand, some theoretical approaches, such as Conceptual Blending and Algebraic Semiotics, are examined. On the other hand, formalizations of knowledge bases are presented. The latter are viewed as Formal Ontologies.

All these topics are subject of research for many fields of science such as Philosophy, Artificial Intelligence, Mathematics, Psychology etc. We usually refer to these topics as Cognitive Science. On the present thesis we mainly focus on these topics from a Mathematical and Artificial Intelligence point of view. Also, their impact on the development of the Semantic Web is demonstrated.

In the last chapter we try to demonstrate Conceptual Blending using ontologies written in OWL (Web Ontology Language). More specifically, we assume a situation in which we would like to exhibit various kinds of art (poem, painting, music) simultaneously. We name that situation Multimedia Exhibition. Then the need of a method to choose the art content arises. Finally, we describe how the development of a data base in a Formal Ontology form could help in this situation.

# Γλωσσάρι και Συντομογραφίες

Conceptual Blending	Εννοιολογική Μίξη
Conceptual space	Εννοιολογικός χώρος
Semiotics	Σημειωτική
Sign	Σημείο
Signifier	Σημαίνον
Signified	Σημαινόμενο
Interpretant	Διερμηνεία
Semiotic System / Sign System	Σημειωτικό Σύστημα
Algebraic Semiotics	Αλγεβρική Σημειωτική
Semiotic space	Σημειωτικός χώρος
Structural Blending	Δομική Μίξη
Semiotic morphism	Σημειωτικός μορφισμός
Ontology	Οντολογία
Formal ontology	Τυπική οντολογία
Hyperontologies	Υπεροντολογίες
Knowledge Engineering	Τεχνολογία Γνώσης
Artificial Intelligence	Τεχνητή Νοημοσύνη
Knowledge base	Βάση γνώσης
Epistemology	Επιστημολογία
Mereology	Μερεολογία
Topology	Τοπολογία
Institution theory	Θεωρία θεσμών
Institution	Θεσμός
Ontological Blending	Οντολογική Μίξη
Ontological base diagram	Οντολογικό διάγραμμα βάσης
Base morphisms	Μορφισμοί βάσης
Base ontology	Οντολογία βάση

Ontology intersection

Analogical reasoning

Competency Questions

Ontology engineering

Τομή οντολογιών

Αναλογική επιχειρηματολογία

Ερωτήσεις επάρκειας

Τεχνολογία οντολογιών

EM: Εννοιολογική Μίξη

ΔM: Δομική Μίξη

ΛΠB: Λογική Πρώτου Βαθμού

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Γλωσσάρι και Συντομογραφίες .....	5
Γνωσιακή Επιστήμη .....	10
Εννοιολογική Μίξη (Conceptual Blending) .....	11
Εισαγωγή .....	11
Δομή της Εννοιολογικής Μίξης .....	11
Αρχές Βέλτιστης Εννοιολογικής Μίξης .....	14
Είδη της Εννοιολογικής Μίξης.....	15
Εννοιολογικές Συμπιέσεις.....	15
Παραδείγματα της Εννοιολογικής Μίξης.....	16
Εφαρμογές της Εννοιολογικής Μίξης και Ερευνητική Ανασκόπηση.....	18
Σημειωτική και Αλγεβρική Σημειωτική .....	20
Σημειωτική.....	20
Αλγεβρική Σημειωτική.....	21
Οντολογίες .....	24
Εισαγωγή .....	24
Τεχνολογία Γνώσης.....	24
Βασικές Έννοιες.....	24
Επιστημολογία, Οντολογία και Τυπική Οντολογία .....	26
Ορισμός της Οντολογίας.....	26
Γλώσσες Οντολογιών.....	27
Το Οντολογικό Επίπεδο .....	28
Μερεολογία και Τοπολογία.....	29
Μερεολογία.....	29
Τοπολογία .....	29



Χρησιμότητα των Οντολογιών.....	30
Επικοινωνία .....	31
Διαλειτουργικότητα .....	31
Οφέλη Τεχνολογίας Συστημάτων.....	31
Μεθοδολογία Κατασκευής Οντολογιών.....	32
Γενικές Κατευθυντήριες Γραμμές .....	33
Υπεροντολογίες (Hyperontologies).....	35
Εισαγωγή .....	35
Χρήσιμοι Ορισμοί.....	36
Τρόποι Συσχέτισης των Οντολογιών.....	39
Οι Γλώσσες OWL και DOL.....	40
OWL .....	40
Βασικά Στοιχεία των OWL Οντολογιών.....	41
Εφαρμογές .....	43
DOL.....	44
Χρησιμότητα στις Διαδικασίες Μίξης.....	45
Συντακτικό .....	46
Σημασιολογία.....	47
Το Γράφημα των Λογικών της DOL.....	48
Εφαρμογές .....	48
Τυποποίηση της Εννοιολογικής Μίξης.....	50
Εισαγωγή .....	50
Η Εννοιολογική Μίξη ως Οντολογία .....	51
Κατασκευάζοντας την Οντολογία-Βάσης .....	52
Επιλέγοντας την Μίξη.....	53
Ontohub .....	54
Εφαρμογές Οντολογιών και Οντολογικής Μίξης.....	56
Πολυμεσική Έκθεση .....	58

Εισαγωγή .....	58
Protégé .....	59
Δημιουργώντας το Μοντέλο για την Πολυμεσική Έκθεση .....	59
Η Οντολογία-Βάσης του Μοντέλου .....	67
Συμπεράσματα και Προτάσεις για το Μέλλον .....	68
Ο Κώδικας σε OWL/XML .....	69
Η Οντολογία Painting .....	69
Η Οντολογία Poem .....	71
Η Οντολογία Music .....	74
Η Οντολογία Exhibit1.1 .....	76
Η Οντολογία ArtPiece .....	78
Βιβλιογραφία .....	80

## ***Γνωσιακή Επιστήμη***

Γνωσιακή επιστήμη είναι το διεπιστημονικό πεδίο που ασχολείται με τον νου και τις νοητικές διεργασίες. Πρόκειται για όλα εκείνα τα θέματα που απασχολούν από κοινού την ψυχολογία, τη φιλοσοφία, την τεχνητή νοημοσύνη, τη νευροεπιστήμη, την ανθρωπολογία και τη γλωσσολογία. Εστιάζει την έρευνα της κυρίως στη μελέτη της αντίληψης, της προσοχής, της νόησης, της δράσης, της γλώσσας, της μνήμης, της μάθησης και της γνωστικής ανάπτυξης.

# Εννοιολογική Μίξη (Conceptual Blending)

## Εισαγωγή

Μία έννοια της γνωσιακής επιστήμης είναι το Conceptual Blending. Το Conceptual Blending ή Εννοιολογική Μίξη (EM) είναι μια διεργασία του νου, τόσο καθημερινή όσο και θεμελιώδης, ώστε στη βάση της οικοδομείται η σκέψη και ορισμένες λειτουργίες της γλώσσας μας. Σύμφωνα με τον G.Fauconnier (2000):

*Το Conceptual Blending (Εννοιολογική Μίξη) είναι μια πνευματική λειτουργία που αποσκοπεί στην παραγωγή νέων εννοιών, την παγκόσμια ενόραση και σε εννοιολογικές συμπίεσεις, χρήσιμες για την μνήμη και τη διαχείριση εννοιολογικών πεδίων που, αν αντιμετωπιστούν διαφορετικά, μοιάζουν χαοτικά. Η λειτουργία αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή εννοιών στην καθημερινή μας ζωή, στη τέχνη και στις επιστήμες, ιδίως τις Κοινωνικές και Συμπεριφορικές επιστήμες. Στην ουσία το Conceptual Blending προσπαθεί να ταιριάζει μερικώς δυο έννοιες (είσοδους) και να παρουσιάσει επιλεκτικά μια καινοτόμο μίξη αυτών, η οποία θα αποτελέσει μια δυναμική και αναπτυσσόμενη δομή. Πιστεύεται πως ένα σύνθετο Conceptual Blending αποτελεί αρχή της σκέψης και της γλώσσας.*

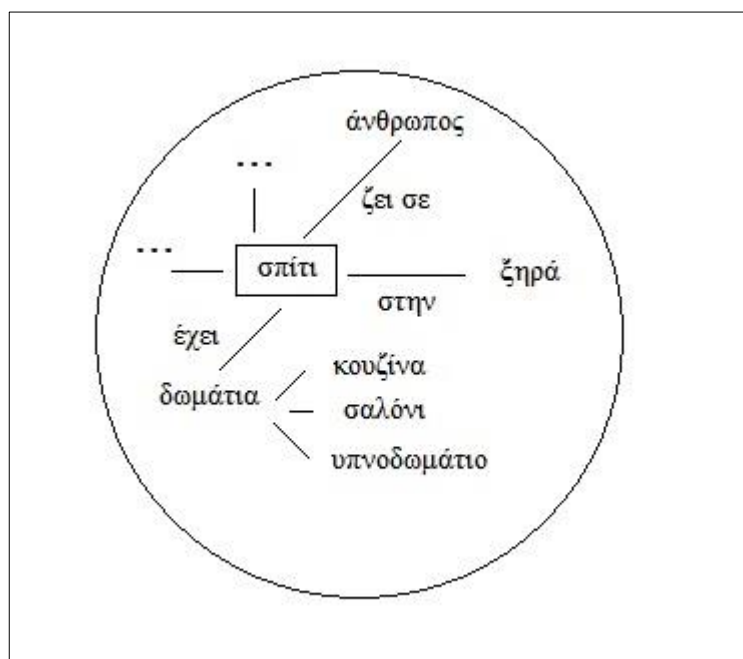
Υπάρχουν πολλά παραδείγματα στην καθημερινή μας ομιλία και επικοινωνία, όπου εντοπίζονται διαδικασίες EM. Συνηθέστερα, στη διαδικασία εμπλέκονται δύο έννοιες *είσοδοι*, ενώ σε πιο σύνθετες διαδικασίες, η μία ή και οι δύο έννοιες *είσοδοι* αποτελούν οι ίδιες αποτέλεσμα EM. Για παράδειγμα στη φράση «*μεταναστευτικό ρεύμα*» πραγματοποιείται EM μεταξύ της έννοιας *μετανάστευση* και της έννοιας *ρεύμα ποταμού*. Ένα άλλο παράδειγμα, με το οποίο οι χρήστες ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι εξοικειωμένοι, είναι αυτό της «*επιφάνειας εργασίας*» ενός Η/Υ. Σε αυτή την περίπτωση οι δύο εμπλεκόμενες έννοιες είναι αυτή μιας πραγματικής *επιφάνειας εργασίας* (πχ ενός γραφείου) και αυτή της *οθόνης* του Η/Υ. Ένα παράδειγμα που θα μελετήσουμε αναλυτικότερα παρακάτω είναι η μίξη των αγγλικών λέξεων *land* και *yacht*. Συμπεραίνουμε από αυτές τις πρώτες αναφορές ότι η EM έχει την ιδιότητα να χειρίζεται έννοιες που μπορεί να προέρχονται από εντελώς διαφορετικά πεδία και να τις ταιριάζει για τη δημιουργία νέων εννοιών.

## Δομή της Εννοιολογικής Μίξης

Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της EM απαιτούνται κάποια δομικά συστατικά. Τα δομικά συστατικά αυτά δεν είναι τίποτα άλλο παρά στοιχεία εννοιολογικών χώρων (conceptual

spaces). Τι είναι όμως ένας εννοιολογικός χώρος; Οι *εννοιολογικοί χώροι* είναι εννοιολογικά πακέτα που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της σκέψης και της ομιλίας προκειμένου να κατανοήσουμε τον κόσμο γύρω μας και να πραγματοποιήσουμε κάποιες ενέργειες. Είναι συλλογές στοιχείων που υπακούουν σε ένα οργανωτικό πλαίσιο<sup>1</sup> και που συνδέονται με κάποιου είδους σχέσεις. Οι συλλογές αυτές δεν είναι σε καμία περίπτωση στατικές και μεταλλάσσονται δυναμικά καθώς η διαδικασία της σκέψης ή της ομιλίας ξετυλίγεται. Το οργανωτικό πλαίσιο υπό το πρίσμα του οποίου ερμηνεύουμε μία ΕΜ συχνά μας οδηγεί σε κάποιες προεπιλογές. Οι προεπιλογές αυτές εξαρτώνται από παράγοντες κουλτούρας, επαναλαμβανόμενων ρόλων που εμφανίζονται σε πολλά πλαίσια, ακόμα και τη συγκεκριμένη κατάσταση κατά την οποία πραγματοποιείται κάποια διαδικασία σκέψης ή ομιλίας.

Θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε τα στοιχεία των εννοιολογικών χώρων με νευρικά κύτταρα που έχουν ενεργοποιηθεί, και τις συνδέσεις μεταξύ τέτοιων στοιχείων με νεύρα (νευρολογικές συνδέσεις). Έτσι συλλαμβάνουμε τους εννοιολογικούς χώρους σαν δίκτυα.

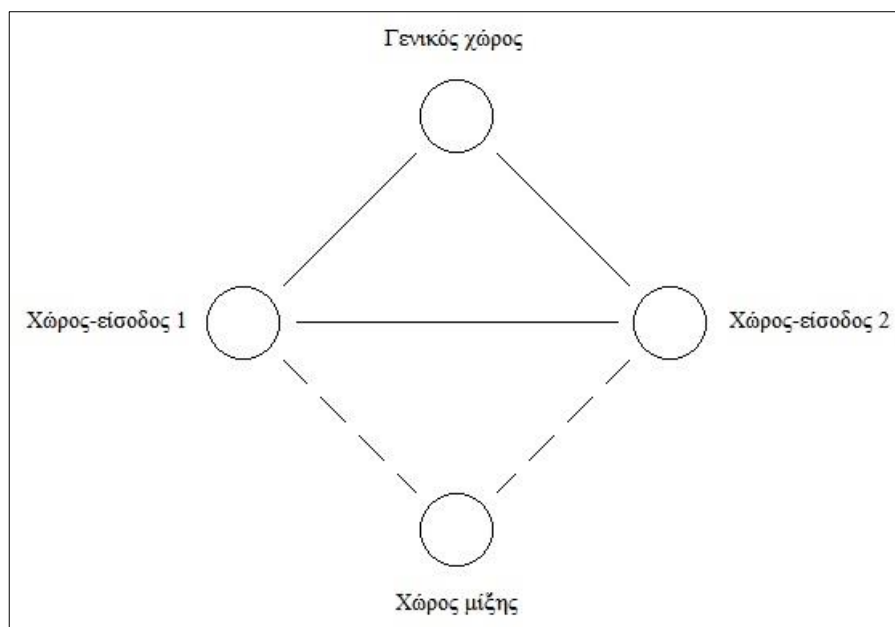


Εικόνα 1: Παράδειγμα εννοιολογικού χώρου ως δίκτυο.

Για παράδειγμα, όταν μία συζήτηση που πραγματοποιούμε είναι σχετική με την έννοια *σπίτι*, τότε ασυνείδητα δημιουργείται ένας εννοιολογικός χώρος, σχετικός με την έννοια αυτή. Αυτός ο εννοιολογικός χώρος, κατά πάσα πιθανότητα, θα εμπεριέχει ως στοιχείο τη λέξη *σπίτι*, παράλληλα με άλλα στοιχεία όπως *δωμάτια* κλπ. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται μεταξύ τους με κάποιες σχέσεις, όπως: το σπίτι έχει δωμάτια, ο άνθρωπος ζει στο σπίτι κλπ.

<sup>1</sup> Το οργανωτικό πλαίσιο νοείται ως κάποια σχηματική-συμβατική οργάνωση οποιασδήποτε γνώσης.

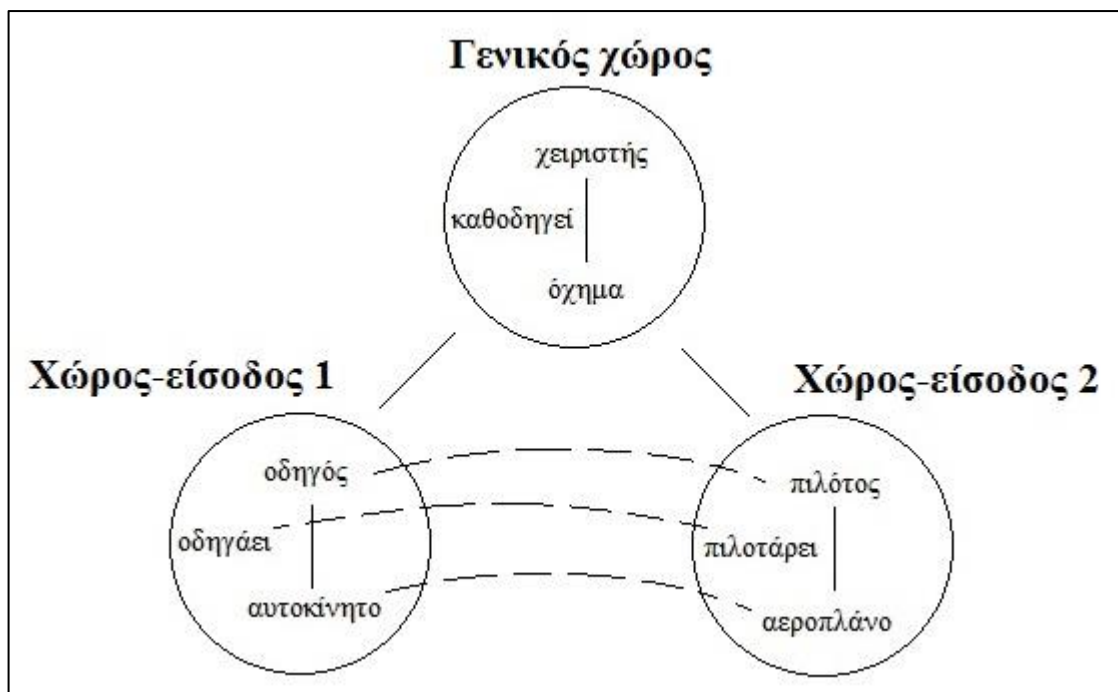
Επιπλέον, η δομή μιας EM μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση ενός δικτυακού μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, μία EM αναπαρίσταται ως ένα δίκτυο εννοιολογικών χώρων. Στην απλούστερη περίπτωση οι εννοιολογικοί χώροι που συμμετέχουν σε μία EM είναι τέσσερις: δύο *χώροι-είσοδοι* (οι έννοιες που συμμετέχουν στην EM), ένας *γενικός χώρος* (που περιγράφει την κοινή δομή των δύο χώρων εισόδων) και τέλος, ένας *χώρος μίξης* (το αποτέλεσμα της EM). Στην παρακάτω εικόνα κάθε ένας κύκλος αντιπροσωπεύει έναν εννοιολογικό χώρο, όπως περιγράφηκε παραπάνω.



**Εικόνα 2:** Η εννοιολογική μίξη ως δίκτυο εννοιολογικών χώρων.

Οι δύο χώροι εισόδοι συχνά παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά ως προς το οργανωτικό τους πλαίσιο. Ωστόσο, κανένας αυστηρός περιορισμός δεν υπάρχει. Έτσι οι δύο χώροι-είσοδοι μπορούν να διαφέρουν σημαντικά. Το μόνο σίγουρο είναι η ύπαρξη μιας μερικής συσχέτισής τους, οποιοδήποτε είδους, που επιτρέπει την εφαρμογή της EM. Παράλληλα, υπάρχουν και αντιστοιχίες στοιχείων μεταξύ των δύο αυτών χώρων. Δηλαδή, ένα στοιχείο από τον χώρο-είσοδο 1 μπορεί να έχει ένα αντίστοιχο του στοιχείο στον χώρο-είσοδο 2. Σε επόμενη ενότητα θα δούμε πώς το είδος της συσχέτισης των δύο χώρων-εισόδων, μπορεί να χρησιμεύσει ως κριτήριο για τον χαρακτηρισμό μιας EM.

Ο γενικός χώρος είναι ο κοινός χώρος που συνδέει τους δύο χώρους-εισόδους, περιλαμβάνοντας στοιχεία για τη δομή τους και τις σχέσεις μεταξύ στοιχείων των δύο αυτών χώρων. Στην ουσία πρόκειται για την κοινή γνώση που έχουμε για τους δύο χώρους-εισόδους.



Εικόνα 3: Παράδειγμα γενικού χώρου.

Στον χώρο μίξης περιλαμβάνεται το αποτέλεσμα της ΕΜ. Ο χώρος αυτός είναι το αποτέλεσμα επιλεκτικής προβολής στοιχείων και από τους δύο χώρους-εισόδους. Δεν πρέπει να τον σκεφτόμαστε σαν μια στατική αντιστοιχία στοιχείων, αλλά ως μια δυναμική δομή, που έχει τη δυνατότητα να διαφοροποιείται συνεχώς.

Σε πιο σύνθετες περιπτώσεις, οι χώροι-είσοδοι μπορεί να συμπίπτουν με χώρους μίξης προηγούμενων ΕΜ, ο νέος χώρος μίξης να τροφοδοτεί έναν χώρο-είσοδο μιας επόμενης ΕΜ κοκ. Τέτοια περίπλοκα δίκτυα αποτελούν έναν από τους θεμέλιους λίθους της ανθρώπινης δημιουργικότητας.

## Αρχές Βέλτιστης Εννοιολογικής Μίξης

Έχουμε αναφέρει ότι όταν δύο εννοιολογικοί χώροι συνδυάζονται στη διαδικασία της ΕΜ, το αποτέλεσμα τους δεν είναι μοναδικό αλλά εξαρτάται από κάποιο πλαίσιο και την κατάσταση τη στιγμή της ΕΜ. Ακόμα και έτσι μπορεί να μην είναι ξεκάθαρο ποιο θα είναι το αποτέλεσμα που θα προβληθεί στο χώρο μίξης. Όπως έχει προταθεί από τους Fauconier και Turner (2003), η μίξη πρέπει να ικανοποιεί κάποιες αρχές. Οι αρχές αυτές είναι οι εξής:

- ❖ Integration: Το αποτέλεσμα στο χώρο μίξης πρέπει να είναι ολοκληρωμένο.
- ❖ Web: Οι ισχυρές ενώσεις μεταξύ στοιχείων του χώρου μίξης και αντίστοιχων των χώρων-εισόδων πρέπει να διατηρούνται. Αν κάποια μεταβολή συμβαίνει στις εισόδους, τότε τα αντίστοιχα στοιχεία του χώρου μίξης πρέπει να προσαρμόζονται σ' αυτή την αλλαγή.
- ❖ Unpacking: Θα πρέπει να είναι εύκολο, δοθέντος του χώρου μίξης, να διαπιστώνουμε τους χώρους-εισόδους και τις ενώσεις.

- ❖ Topology: Τα στοιχεία της μίξης πρέπει να συμμετέχουν σε ίδιου είδους συνδέσεις με τα αντίστοιχά τους, στους χώρους-εισόδους.
- ❖ Good reason: Κάθε στοιχείο του χώρου μίξης, θα πρέπει να έχει λόγο που εμφανίζεται εκεί.

Οι αρχές αυτές ισχύουν τις περισσότερες φορές σε EM της κοινής λογικής, όπως στην καθημερινή μας γλώσσα και στη διαφήμιση. Σε πολυπλοκότερες περιπτώσεις πρωτότυπης χρήσης της γλώσσας, όπως για παράδειγμα στην ποίηση, μπορεί αυτές οι αρχές να μην αρκούν για να περιγράψουν τις αντίστοιχες διαδικασίες. Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει είναι στην τυποποίηση των EM, όπου οι αρχές αυτές είναι συχνά μη εφικτές προγραμματιστικά. Σύμφωνα με τους Goguen και Fox (2004), αυτές μπορούν και πρέπει να αντικατασταθούν από άλλες αρχές όπως ο βαθμός της αντιμεταθετικότητας και ο βαθμός διατήρησης αξιωμάτων.

## ***Είδη της Εννοιολογικής Μίξης***

Έχοντας συλλάβει πλέον λίγη από την σπουδαιότητα της λειτουργίας της EM, είναι εύκολο να καταλάβουμε γιατί αυτή μελετάται διεξοδικά. Μία ταξινόμηση θα μας βοηθήσει να την κατανοήσουμε σε ακόμη μεγαλύτερο βάθος.

Ένας τρόπος ταξινόμησης (Fauconnier, 2000) των EM είναι στις τέσσερις κατηγορίες που ακολουθούν:

- ❖ Simplex: Σε αυτήν την περίπτωση ο ένας χώρος-είσοδος περιλαμβάνει κάποιο πλαίσιο και ο δεύτερος συγκεκριμένα στοιχεία για τη μίξη. Πλαίσιο είναι μια οποιαδήποτε οργάνωση γνώσης.
- ❖ Mirror: Και οι δύο χώροι-είσοδοι μοιράζονται ένα κοινό οργανωτικό πλαίσιο με διαφορετικά στοιχεία ο καθένας.
- ❖ Single-scope: Εδώ οι δύο χώροι-είσοδοι έχουν διαφορετικό οργανωτικό πλαίσιο και ο χώρος μίξης υιοθετεί το ένα από αυτά.
- ❖ Double-scope: Ξανά, το οργανωτικό πλαίσιο διαφέρει στους δύο χώρους-εισόδους, όμως ο χώρος μίξης υιοθετεί ιδιότητες πλαισίου και στοιχεία και από τους δύο.

Η EM όπως παρουσιάστηκε παραπάνω αποτελεί μια ασυνείδητη λειτουργία στην καθημερινότητά μας. Μεταφορές, αναλογίες, έθιμα, γραμματικές κατασκευές, λογικά πλαίσια μπορούν να μελετηθούν κάτω από το ίδιο πρίσμα: αυτό της EM.

## ***Εννοιολογικές Συμπιέσεις***

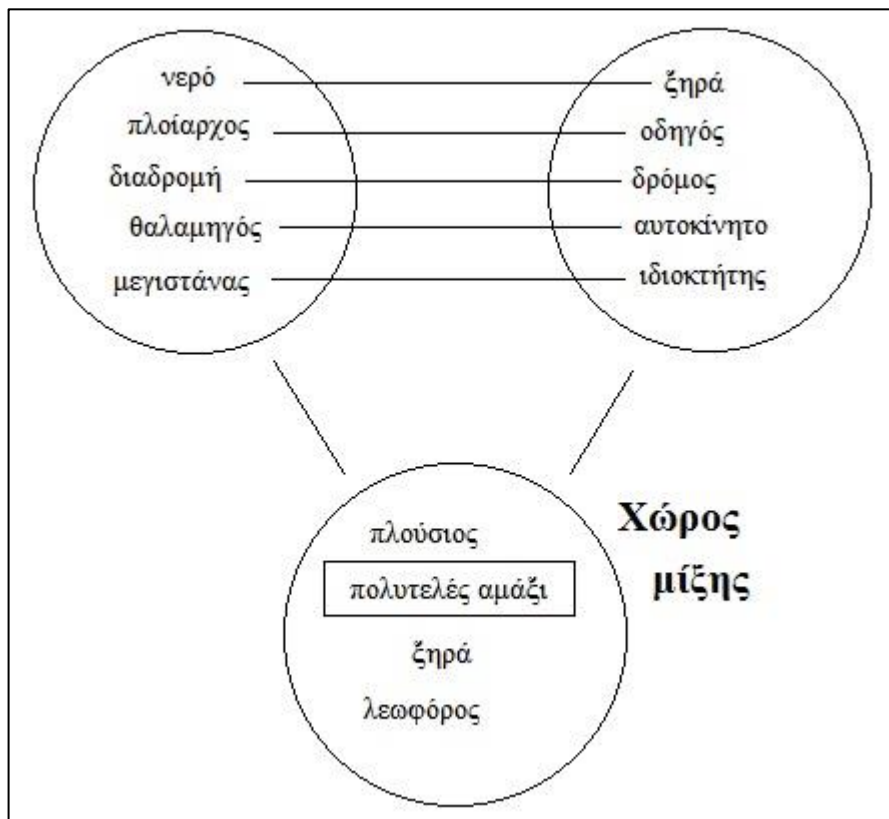
Η χρήση και μίξη εννοιολογικών χώρων δεν γίνεται χωρίς σκοπό. Αποσκοπεί στην κατανόηση του κόσμου που μας περιβάλλει, μας καθιστά αποδοτικούς και δημιουργικούς. Ένας τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό είναι και μέσω συμπιέσεων εννοιών. Έννοιες όπως αυτές του



χρόνου, χώρου, αιτίου αποτελέσματος, ταυτότητας και αλλαγής συμπίεζονται συχνά στο πλαίσιο ΕΜ. Οι διαδικασίες αυτές τυποποιούνται και περιγράφονται από γραμματικούς κανόνες στις διάφορες γλώσσες, λόγω της συχνής τους χρήσης. Ωστόσο, οι μίξεις που τελικά περιγράφονται από τέτοιους γραμματικούς κανόνες είναι μόνο ένα μικρό υποσύνολο του συνόλου των δυνατών εννοιολογικών μίξεων. Ακόμα, διαφέρουν από κουλτούρα σε κουλτούρα και γλώσσα σε γλώσσα.

## Παραδείγματα της Εννοιολογικής Μίξης

Σε αυτήν την παράγραφο θα μελετήσουμε αναλυτικότερα κάποια παραδείγματα ΕΜ. Το πρώτο παράδειγμα είναι αυτό των αγγλικών λέξεων *land* και *yacht*, ή αντίστοιχα στα ελληνικά των λέξεων *ξηρά* και *θαλαμηγός* (Fauconnier & Turner, 2003). Μία μίξη που μπορεί να προκύψει από αυτές τις δύο λέξεις είναι η φράση «*θαλαμηγός ξηράς*». Πώς όμως δύο φαινομενικά ξένοι εννοιολογικοί χώροι συνδυάζονται και δίνουν ένα τέτοιο αποτέλεσμα ΕΜ; Η μίξη αυτή είναι επιτρεπτή αν εξεταστεί με τη θεωρία που περιγράψαμε παραπάνω και μάλιστα αποτελεί παράδειγμα *double-score* μίξης.



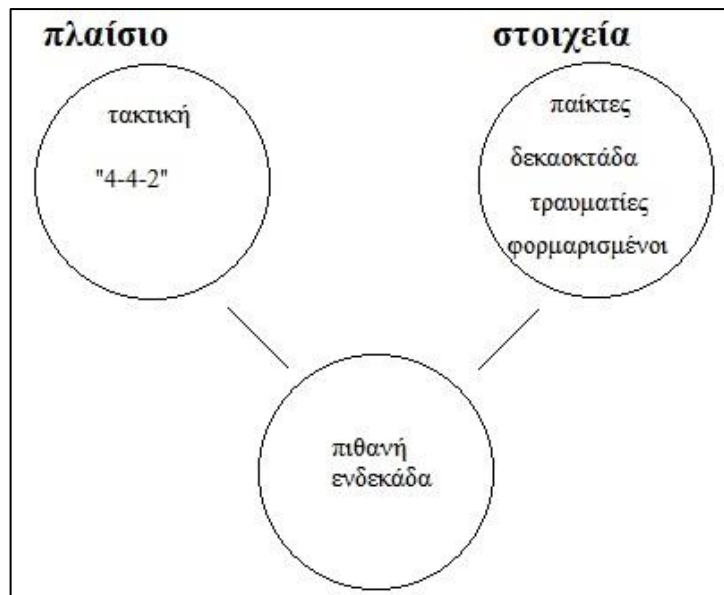
Εικόνα 4: Παράδειγμα *double-score* Εννοιολογικής Μίξης.

Ας δούμε τώρα ποιοι ακριβώς μπορεί να είναι οι δύο χώροι είσοδοι και ο χώρος μίξης. Υποθέτουμε ότι σε μία συζήτηση ακούγεται η εξής φράση: «Ο Αντρέας δεν οδηγάει αμάξι, αλλά *θαλαμηγό ξηράς!*». Τότε κατασκευάζεται ένας χώρος μίξης με την έννοια του *πολυτελούς αμαξιού*, παρότι στη φράση «*θαλαμηγός ξηράς*» δεν εμφανίζεται η λέξη αμάξι. Το στοιχείο της *πολυτέλειας*

προέρχεται από τον χώρο-είσοδο *θαλαμηγός*, ενώ το στοιχείο *αμάξι* από τον χώρο-είσοδο *ξηρά*. Πρέπει να τονίσουμε, όμως, ότι το στοιχείο *αμάξι* εντοπίζεται στον χώρο-είσοδο *ξηρά*, διότι ακριβώς συνδυάζεται με τον χώρο-είσοδο *θαλαμηγός*. Εννοούμε εδώ πως δεν είναι δεσμευτικό σε όλες τις EM που συναντάμε τον χώρο-είσοδο *ξηρά*, αυτός να περιλαμβάνει το στοιχείο *αμάξι*. Κατά αυτήν την έννοια αιτιολογείται και η παρομοίωση των στοιχείων εννοιολογικών χώρων με ενεργοποιημένα νευρικά κύτταρα.

Άλλα στοιχεία που εμφανίζονται στον χώρο-είσοδο *θαλαμηγός* μπορεί να είναι: νερό, πλοίαρχος, διαδρομή κλπ. Αντίστοιχα στον χώρο-είσοδο *ξηρά* μπορούμε να συναντήσουμε τα στοιχεία: *ξηρά*, *οδηγός*, *δρόμος* κλπ. Στην παραπάνω σχηματική απεικόνιση της EM παρουσιάζουμε κάποια αντίστοιχα στοιχεία των δύο χώρων-εισόδων. Αυτό δεν σημαίνει πως αυτά είναι και τα μοναδικά στοιχεία των δύο αυτών χώρων.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως η μίξη πραγματοποιείται κυρίως μεταξύ δύο στοιχείων (*θαλαμηγός*, *ξηρά*) τα οποία δεν είναι αντίστοιχα των δύο χώρων-εισόδων. Η δυνατότητα αυτή του να συνδυάζονται έννοιες από διαφορετικά πεδία, είναι πολύ χρήσιμη για τη δημιουργικότητά μας. Έτσι, σε τομείς που η δημιουργικότητα και η καινοτομία είναι απαραίτητη, η EM μπορεί να μας λύσει τα χέρια. Κάτι τέτοιο συμβαίνει και στη διαφήμιση και εφαρμογές αυτού θα δούμε στην επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 5: Παράδειγμα simplex Εννοιολογικής Μίξης

Η παραπάνω περίπτωση EM ίσως είναι και η πιο σύνθετη. Ένα απλούστερο παράδειγμα EM θα ήταν αυτό της *βασικής ενδεκάδας* μίας ομάδας ποδοσφαίρου. Φανταστείτε ότι ένας φίλαθλος διαβάζει τα αθλητικά νέα και μαθαίνει την *αποστολή* (δεκαοκτάδα) της αγαπημένης του ομάδας στον επερχόμενο αγώνα και γνωρίζει τη *συνήθη τακτική* της. Έχουμε εδώ δύο εννοιολογικούς

χώρους, που ο ένας περιέχει ένα οργανωτικό πλαίσιο (τακτική, σύστημα κλπ) και ο δεύτερος συγκεκριμένα στοιχεία που μπορούν να απαρτίσουν τον χώρο μίξης (δεκαοκτάδα).

Σε αυτήν την περίπτωση ο χώρος μίξης είναι πιθανό να προκύψει ως αποτέλεσμα simplex EM, και ένα τέτοιο θα ήταν μια *πιθανή ενδεκάδα* του επερχόμενου αγώνα. Σε αυτήν την περίπτωση ο φίλαθλος δανείζεται από τον έναν χώρο-είσοδο το οργανωτικό πλαίσιο, όπως αυτό της συνήθους τακτικής που ακολουθεί η ομάδα στους προηγούμενους αγώνες. Από τον άλλο χώρο αντίστοιχα λαμβάνει συγκεκριμένα στοιχεία, δηλαδή παίκτες που έχουν ανακοινωθεί ως υποψήφιοι να παίξουν. Στον χώρο μίξης, ως αποτέλεσμα προβάλλεται μια πρόβλεψη πιθανής ενδεκάδας και αυτή μπορεί να μεταβάλλεται, για παράδειγμα καθώς ο φίλαθλος διαβάζει τα νέα της ομάδας του και μαθαίνει καινούριες πληροφορίες για την κατάσταση των παικτών.

## ***Εφαρμογές της Εννοιολογικής Μίξης και Ερευνητική Ανασκόπηση***

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εφαρμογές της EM στον τομέα της διαφήμισης και πολλά άρθρα έχουν γραφτεί στο αντικείμενο αυτό. Να ξεκαθαρίσουμε ευθύς εξαρχής ότι η EM δεν είναι το μόνο πρίσμα υπό το οποίο έχουν μελετηθεί οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στις διαφημίσεις και το πώς αυτές «περνάνε» τα μηνύματά τους. Εξίσου σημαντικές για την ανάλυση των διαφημίσεων είναι οι θεωρίες της μεταφοράς και της μετωνυμίας. Μάλιστα, υπήρχε η τάση να υπονομεύεται ο ρόλος της EM απέναντι στις άλλες δύο, οι οποίες προτιμούνταν.

Σταδιακά η κατάσταση φαίνεται να έχει αντιστραφεί και όλο και περισσότεροι μελετητές χρησιμοποιούν τη θεωρία της EM στην ανάλυση των διαφημίσεων. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ο Ruiz (2006) κάνει χρήση της θεωρίας της EM, μαζί με αυτές της μεταφοράς και της μετωνυμίας. Αναφέρει πως ο *πηγαίος-χώρος* και ο *χώρος-στόχος* μιας μεταφοράς μπορούν να εκληφθούν ως δύο χώροι-είσοδοι μιας EM. Προτείνει δε να γίνεται χρήση της EM όταν είναι εμφανής κάποιος *γενικός χώρος* που συσχετίζεται με στοιχεία και από τους δύο χώρους-εισόδους. Χρησιμοποιεί και τις τρεις μεθόδους για την ανάλυση διαφημίσεων που αφορούν καταπολέμηση της χρήσης των ναρκωτικών.

Η σημασία της EM αναδεικνύεται το 2009 (Joy, Sherry, & Deschenes) όπου επισημαίνεται η υπεροχή της θεωρίας αυτής έναντι των άλλων δύο για την ανάλυση των διαφημίσεων. Ένα επιχείρημα προς αυτήν την κατεύθυνση είναι πως η μονοδιάστατη απεικόνιση των μεταφορών (στατικές αντιστοιχίες από έναν πηγαίο χώρο σε έναν χώρο στόχο) δεν καταφέρνει να συλλάβει επαρκώς τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε μία διαφήμιση. Πιο συγκεκριμένα, στις διαφημίσεις συχνά συμμετέχουν στοιχεία κειμένου, εικόνας, ακόμα και ήχου. Η δυναμική συσχέτιση τέτοιων στοιχείων εντός κάποιου πλαισίου μελετάται πολύ καλύτερα με τους όρους μιας EM και οι λόγοι για αυτό έχουν σκιαγραφηθεί στις προηγούμενες παραγράφους. Στόχος του

άρθρου των Joy, Sherry και Deschenes ήταν να καταγραφεί ο τρόπος με τον οποίο οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τα μηνύματα των διαφημίσεων. Αναφέρεται ότι πολλοί από τους συνεντευξιζόμενους (28 άτομα διαφόρων ιδιοτήτων, ηλικίας 20 έως 60) χρησιμοποίησαν την EM (simplex, mirror, double-score) για να ερμηνεύσουν το περιεχόμενο των διαφημίσεων (εικόνας και κειμένου) που τους προβλήθηκαν.

Σε μία άλλη έρευνα (Abusaeedi, Ahangar, Sarani, & Kangan, 2012) ελέγχεται αν η θεωρία της EM είναι αυτή που κυρίως χρησιμοποιείται από τους καταναλωτές στην ερμηνεία των διαφημίσεων. Εδώ, ξανά, οι συνεντευξιζόμενοι (30 φοιτητές, 18 έως 28 ετών) ερωτώνται να ερμηνεύσουν διαφημίσεις (κειμένου και εικόνας) ιρανικών οικογενειακών περιοδικών. Στις διαφημίσεις που τους παρουσιάζονται υπάρχουν παραδείγματα και των τεσσάρων ειδών εννοιολογικής μίξης και σε κάθε ένα από αυτά μετράται το ποσοστό επιτυχίας να τις ερμηνεύσουν σύμφωνα με τη θεωρία της EM. Τα αποτελέσματα είναι σαφώς υπέρ της EM καθώς στις 3 από τις 4 περιπτώσεις η επιτυχία είναι στο 100%, ενώ στο παράδειγμα double-score EM το αντίστοιχο ποσοστό είναι 83,3%.

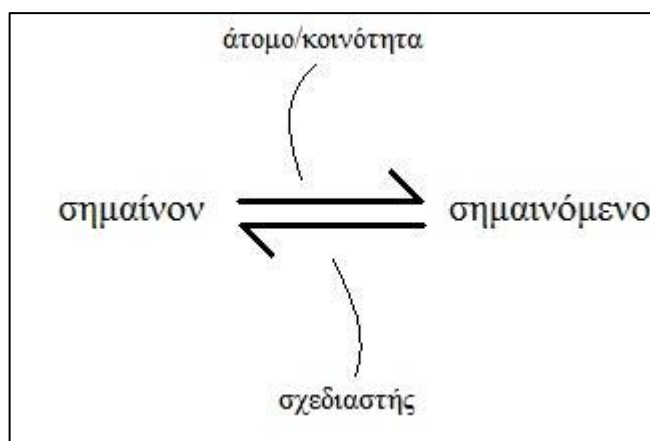
# Σημειωτική και Αλγεβρική Σημειωτική

## Σημειωτική

Ένα εργαλείο με το οποίο μπορούμε να χειριστούμε τη διαδικασία της ΕΜ είναι αυτό της Σημειωτικής (*Semiotics*), μιας θεωρητικής επιστήμης. Σκοπός της συγκεκριμένης παρουσίασης στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, είναι να δια φωτίσουμε το πώς έχοντας στα χέρια μας τη θεωρία της Σημειωτικής επιστήμης, μπορούμε να τυποποιήσουμε τις διαδικασίες που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο και άρα να διευκολύνουμε την εφαρμογή τους.

Η Σημειωτική είναι η επιστήμη των σημείων, όπου *σημείο* (*sign*) μπορεί να θεωρηθεί οτιδήποτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση μίας έννοιας ή ενός αντικειμένου. Τα σημεία τα συναντάμε παντού γύρω μας, ενώ η οργάνωση των σημείων αποτελεί τη βάση της φυσικής γλώσσας (γραφτής και προφορικής), των γλωσσών προγραμματισμού, καθώς και της αρχιτεκτονικής ή και της τέχνης. Επομένως, η οργάνωση των σημείων αποτελεί βάση για την επικοινωνία.

Ιδρυτές της Σημειωτικής είναι οι Charles Saunders Peirce και Ferdinand Saussure. Σύμφωνα με τον Peirce η σχέση μεταξύ ενός σήματος και του αντικειμένου που αναπαριστά δεν είναι αυτή μιας απλής συνάρτησης, αλλά πιο σύνθετη και δυναμική, καθώς εξαρτάται από το πλαίσιο μέσα στο οποίο ερμηνεύεται το σήμα. Ο Peirce εισήγαγε τη τριαδική θεωρία του σημείου, όπου το σημείο αποτελείται από τις εξής τρεις έννοιες: *σημαίνον* (*signifier*), *σημαινόμενο* (*signified*) και *διερμηνεία* (*interpretant*). Εδώ το σημαίνον είναι μια οποιοδήποτε είδους ένδειξη, ή όπως είπαμε προηγουμένως οτιδήποτε μπορεί να αναπαραστήσει ένα αντικείμενο ή μια έννοια. Αντίστοιχα σημαινόμενο είναι το αντικείμενο ή η έννοια που το σημαίνον αναπαριστά. Τέλος, διερμηνεία είναι η διαδικασία κατά την οποία κάποιος παρατηρητής του σημαίνοντος αντιστοιχεί σε αυτό το σημαινόμενο (κατά τον ίδιο), ή αντίστροφα η διαδικασία κατά την οποία ένας σχεδιαστής σχεδιάζει ένα σημαίνον, που προορίζεται να αναπαριστά ένα επιθυμητό σημαινόμενο.



Εικόνα 6: Η τριαδική θεώρηση του σημείου του Peirce.

Από την άλλη ο Saussure μεταξύ άλλων υποστήριξε ότι τα σήματα δεν αποτελούν μεμονωμένες οντότητες, αλλά εμφανίζονται ως μέλη συστημάτων. Υπό αυτήν την έννοια οι αναπαραστάσεις αποτελούν μορφισμούς μεταξύ σημειωτικών συστημάτων (σημειωτικοί μορφισμοί).

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονίσουμε τη σημασία του ρόλου της δομής κατά τη διερμηνεία. Η έννοια της δομής αποτελεί μέρος της αντίληψής μας, και παρόλο που ο ρόλος της φαίνεται πιο ασαφής, είναι εξίσου σημαντική στη διαμόρφωση εμπειριών, όσο και οι αισθήσεις, τα συναισθήματα και οι εκτιμήσεις. Το πλαίσιο μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο σε μια διερμηνεία, όσο και τα σημεία που λαμβάνουν μέρος σ' αυτή.

Έχοντας στο νου μας τις ιδέες του προηγούμενου κεφαλαίου είναι εύκολο να αντιστοιχήσουμε τις έννοιες *ενοιολογικός χώρος* και *σημειωτικό σύστημα*. Είναι αρκετά σαφές ότι μπορούμε να εκλάβουμε έναν ενοιολογικό χώρο ως ένα σημειωτικό σύστημα, ωστόσο δεν είναι αυτή ακριβώς η σχέση μεταξύ των δύο αυτών εννοιών. Διαβάζοντας την επόμενη παράγραφο θα διαλευκανθεί το λεπτό αυτό σημείο. Έτσι το μόνο που μένει είναι να ορίσουμε αυστηρότερα τις έννοιες της Σημειωτικής, δίνοντάς τους φορμαλισμό.

## **Αλγεβρική Σημειωτική**

Η *Αλγεβρική Σημειωτική (Algebraic Semiotics)* αξιοποιεί τη Σημειωτική δίνοντάς της κάποιο φορμαλισμό, δηλαδή αλγεβρική μορφή. Μας ενδιαφέρει η μελέτη των σημειωτικών συστημάτων και των αναπαραστάσεών τους, καθώς και τι κάνει μια αναπαράσταση καλύτερη από μία άλλη. Στόχος μας είναι η υπολογιστική προσέγγιση των θεμάτων αυτών όπως ακριβώς συμβαίνει και στους άλλους κλάδους της μηχανικής. Αν το κατορθώσουμε αυτό τότε θα μας είναι πολύ εύκολο να χειριστούμε φορμαλιστικά τις διαδικασίες της EM που περιγράψαμε στο πρώτο κεφάλαιο, και άρα να γίνει ευκολότερη η εφαρμογή τους σε πεδία ενδιαφέροντος. Έτσι η Αλγεβρική Σημειωτική θα εδραιωθεί ως ένα σημαντικότατο εργαλείο στα χέρια σχεδιαστών. Μεταξύ άλλων, αυτή η προσπάθεια εφαρμόζεται στην απεικόνιση των πληροφοριών, στο User Interface Design και στην αναπαράσταση μαθηματικών αποδείξεων (Goguen, Mori, & Lin, 1997).

Δεν μπορούμε ποτέ με τον φορμαλισμό ενός σημειωτικού συστήματος να το συλλάβουμε απόλυτα. Αυτό είναι λογικό αν αναλογιστούμε την πολυπλοκότητα των φυσικών σημειωτικών συστημάτων. Έτσι ο φορμαλισμός μας πάντα κάπου θα «χάνει», χωρίς να σημαίνει, ωστόσο, ότι δεν μας είναι χρήσιμος ή και απαραίτητος. Ας δούμε όμως έναν αυστηρότερο ορισμό για το τι ακριβώς είναι ένα σημειωτικό σύστημα.

**Ορισμός 1:** Ένα *σημειωτικό σύστημα* (*semiotic system*)  $S$  αποτελείται από:

1. ένα σύνολο  $S$  από sign sorts, όχι απαραίτητα ανεξάρτητα,
2. μια μερική διάταξη στο  $S$ , που ονομάζεται subsort relation και συμβολίζεται με  $\leq$ ,
3. ένα σύνολο  $V$  από data sorts, για πληροφορίες σχετικά με τα σημεία, όπως χρώμα, θέση, τιμές αληθείας κλπ,
4. μια μερική διάταξη των sorts σε levels, έτσι ώστε τα data sorts να βρίσκονται σε χαμηλότερο επίπεδο από τα sign sorts και να υπάρχει μοναδικό sort ανώτατου level, που ονομάζεται top sort,
5. ένα σύνολο  $C_n$  με level  $n$  constructors που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή level  $n$  signs από level  $n$  signs ή χαμηλότερου, και γράφονται ως  $r:s_1\dots s_k d_1\dots d_m \rightarrow s$ ,
6. μία ιεραρχική (μερική) διάταξη σε κάθε  $C_n$ ,
7. μερικές σχέσεις και συναρτήσεις μεταξύ των signs και
8. ένα σύνολο  $A$  προτάσεων, που καλούνται αξιώματα και περιορίζουν τα δυνατά signs. ■

Ένα σημειωτικό σύστημα μπορεί να εκληφθεί με διαφορετικούς τρόπους. Οι διαφορετικοί αυτοί τρόποι αποτελούν μοντέλα του σημειωτικού συστήματος, το οποίο θεωρείται ως μια θεωρία. Τα διάφορα μοντέλα ενδέχεται να χρησιμοποιούν ακριβώς τα ίδια σύμβολα, ωστόσο είναι ο τρόπος με τον οποίο τα χρησιμοποιούν που τα κάνει να διαφέρουν. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, μπορούμε να εκλάβουμε τα σημειωτικά συστήματα ως λογικά συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, είναι σωστότερο να τα εκλαμβάνουμε ως θεωρίες και όχι ως μοντέλα θεωριών. Κάθε διατυπωμένο σημειωτικό σύστημα καθορίζει μία κλάση μοντέλων που το ικανοποιούν και η κλάση αυτή ονομάζεται *σημειωτικός χώρος* (*semiotic space*).

Στον φορμαλισμό μίξεων είναι πολύ δύσκολο να εστιάσουμε στο περιεχόμενο, όπως κάναμε με την EM. Τα ανθρώπινα όρια σχετικά με την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας ορισμένων συστημάτων, αναγκάζουν κάποιες πληροφορίες να συμπιέζονται ή να διαγράφονται στην προσπάθεια τυποποίησης. Η δομή όμως δεν είναι μικρότερης σημασίας σ' αυτές τις διαδικασίες και ίσως αξίζει και της περισσότερης προσοχής. Άλλωστε επισημάναμε νωρίτερα το ρόλο ενός οργανωτικού πλαισίου σε κάθε EM. Έτσι όταν τυποποιούμε διαδικασίες μίξης στην ουσία ασχολούμαστε με ένα είδος που καλείται Δομική Μίξη (Structural Blending). Η Δομική Μίξη (DM) δεν είναι τίποτα άλλο παρά μίξη σημειωτικών συστημάτων, όπως αυτά ορίστηκαν παραπάνω.

Μένει να παρουσιάσουμε το φορμαλισμό αναπαραστάσεων και τότε η Αλγεβρική Σημειωτική θα είναι μία θεωρία-εργαλείο για το χειρισμό EM. Έτσι ορίζουμε την έννοια του σημειωτικού μορφισμού.

**Ορισμός 2:** Έστω δύο σημειωτικά συστήματα  $S_1$  και  $S_2$ . Ένας *σημειωτικός μορφισμός* (*semiotic morphism*)  $M:S_1 \rightarrow S_2$ , από το  $S_1$  στο  $S_2$  αποτελείται από τις παρακάτω επιμέρους συναρτήσεις (που συμβολίζονται όλες με  $M$ ):

1. sorts του  $S_1 \rightarrow$  sorts του  $S_2$
2. constructors του  $S_1 \rightarrow$  constructors του  $S_2$
3. κατηγορήματα και συναρτήσεις του  $S_1 \rightarrow$  κατηγορήματα και συναρτήσεις του  $S_2$

έτσι ώστε:

4. αν  $s \leq s'$  τότε  $M(s) \leq M(s')$ ,
5. αν  $c:s_1 \dots s_k \rightarrow s$  είναι constructor (ή συνάρτηση) του  $S_1$ , τότε (αν ορίζεται) ο  $M(c):M(s_1) \dots M(s_k) \rightarrow M(s)$  είναι constructor (ή συνάρτηση) του  $S_2$ ,
6. αν  $p:s_1 \dots s_k$  είναι κατηγορήματα του  $S_1$ , τότε (αν ορίζεται) ο  $M(p):M(s_1) \dots M(s_k)$  είναι κατηγορήματα του  $S_2$ , και
7.  $M$  είναι η ταυτοτική για τα data sorts και τις συναρτήσεις των data sorts του  $S_1$ . ■

Ένας στόχος κατά τη διαδικασία της EM είναι οι καλές αναπαραστάσεις. Ωστόσο, δεν υπάρχει κάποιος καθορισμένος τρόπος αξιολόγησης των αναπαραστάσεων. Σε κάθε περίπτωση μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι ο ρόλος της δομής είναι πολύ σημαντικός, όπως έχουμε τονίσει επανειλημμένα. Έτσι ο βαθμός διατήρησης της δομής του πηγαιού συστήματος στο σύστημα-στόχο, αποτελεί ένα χρήσιμο μέτρο για την ποιότητα των μορφισμών, δηλαδή των αναπαραστάσεων. Στις περισσότερες εφαρμογές δεν είναι απαραίτητη η διατήρηση όλων των ιδιοτήτων των πηγαιών χώρων. Έτσι δεν προβάλλονται όλες οι παραπάνω συναρτήσεις, παρά μόνο μια μερική επιλογή αυτών, ανάλογα με την αναγκαιότητα τους σε κάθε περίπτωση.

Με αυτή τη θεωρία είναι ξεκάθαρο πλέον ότι μπορούμε να χειριστούμε τους εννοιολογικούς χώρους μιας EM ως σημειωτικούς χώρους και μάλιστα ως πολύ απλά παραδείγματα αυτών.



# Οντολογίες

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνεται έμφαση στην τυποποίηση των θεωριών που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Τελικός στόχος, άλλωστε, όπως έχει ήδη τονιστεί είναι η υπολογιστική προσέγγιση αυτών.

## Εισαγωγή

Τι είναι μία οντολογία; Σε πρώτο στάδιο δεν θα παραθέσουμε κάποιον ορισμό, διότι κρίνεται απαραίτητη η εξοικείωση με κάποια εισαγωγικά στοιχεία. Ο όρος *οντολογία* (*ontology*) προέρχεται από την φιλοσοφία και αφορά τη γνώση μας για τον κόσμο. Στα θέματα που μελετώνται σε αυτήν την εργασία ίσως πιο σωστός όρος θα ήταν η *τυπική οντολογία* (*formal ontology*), καθώς μας ενδιαφέρει η τυποποίηση τέτοιων θεωριών, που αφορούν τη γνώση. Παρ' όλα αυτά, πολλές φορές θα χρησιμοποιείται ο όρος οντολογία, έχοντας κατά νου πως στην ουσία δεν πρόκειται για ξεχωριστές έννοιες και πως είναι άρρηκτα συνδεδεμένες. Ακόμα, θα αναφερθούμε στα διάφορα επίπεδα που μελετάται η γνώση (γλωσσολογικό, εννοιολογικό, λογικό κλπ). Άλλωστε πρόκειται για ένα διεπιστημονικό πεδίο στο οποίο εμπλέκονται θεωρητικές και τεχνολογικές επιστήμες.

Παράλληλα, θα πρέπει να αναφερθούμε ξεχωριστά στη συμβολή της μερεο-τοπολογίας στην ανάπτυξη τυπικών οντολογιών και πως αυτή εμπλουτίζει τις γλώσσες που χρησιμοποιούνται. Τότε θα είμαστε σε θέση να ορίσουμε πιο αυστηρά τις τυπικές οντολογίες και τελικά να αναφερθούμε στην έννοια των *υπεροντολογιών* (*hyperontologies*). Τέλος, θα δούμε πως η έννοια της Εννοιολογικής Μίξης μπορεί να τυποποιηθεί με τη χρήση των οντολογιών. Ας δούμε, όμως, πρώτα το πεδίο υπό το οποίο μελετάται μία οντολογία.

## Τεχνολογία Γνώσης

### Βασικές Έννοιες

Η *Τεχνολογία Γνώσης* (*Knowledge Engineering*) ασχολείται με οτιδήποτε αφορά την οργάνωση, την ανάπτυξη και τη διατήρηση συστημάτων που στηρίζονται στη γνώση (*βάσεις γνώσης*). Ο ορισμός αυτός είναι αρκετά γενικός και αυτό δικαιολογείται καθώς πρόκειται για ένα αρκετά ευρύ διεπιστημονικό πεδίο. Για παράδειγμα, η έρευνα της *Τεχνητής Νοημοσύνης* (*Artificial Intelligence*) εντάσσεται στο πεδίο αυτό. Οι ερευνητές της Τεχνητής Νοημοσύνης είχαν επικεντρωθεί για αρκετά χρόνια στις συλλογιστικές διαδικασίες, ωστόσο, ένα άλλο αντικείμενο εξίσου σημαντικό είναι αυτό της μοντελοποίησης του πραγματικού κόσμου. Το πρόβλημα της μοντελοποίησης του κόσμου αναλύεται και αντιμετωπίζεται από την σκοπιά των *οντολογιών*. Πριν όμως εξηγήσουμε τι ακριβώς είναι οι οντολογίες που είναι και ο κύριος σκοπός της εργασίας

αυτής, θα προσπαθήσουμε να σκιαγραφήσουμε τις θεμελιακές έννοιες που βρίσκονται πίσω από αυτές.

Ακόμα και η λέξη «*γνώση*» μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο αντιπαράθεσης ως προς την σημασία της. Σύμφωνα με τον Newell (1982) *γνώση* είναι:

«*οτιδήποτε μπορεί να αποδοθεί σε κάποιον πράκτορα, έτσι ώστε η συμπεριφορά του να μπορεί να υπολογιστεί με λογικό τρόπο*»

Πιο απλά, αν κάποιος παρατηρητής αναθέσει σε ένα μέσο (πράκτορα) κάποιον στόχο (την εύρεση τροφής, την παράκαμψη κάποιου εμποδίου), και ο ίδιος παρατηρητής δει ότι το μέσο (ο πράκτορας) προχωράει στην επίτευξη του στόχου αυτού με συστηματικό και λογικό τρόπο, τότε λέμε ότι ο παρατηρητής *απέδωσε γνώση* στο μέσο αυτό. Αυτός ο ορισμός της γνώσης μας είναι χρήσιμος για τα θέματα που θίγονται στην εργασία αυτή και γι' αυτόν τον σκοπό τον υιοθετούμε, ώστε η παρουσίαση να γίνει πιο αποδοτική.

Ένας από τους υποστηρικτές της αξιοποίησης της Τεχνολογίας Γνώσης στην κατεύθυνση της μοντελοποίησης είναι ο Clancey. Ο Clancey (1993) υποστηρίζει ότι μία *βάση γνώσης* (*knowledge base*) δεν είναι μόνο η αντιγραφή της γνώσης κάποιου ειδικού σε κάποια αποθήκη γνώσεων, αλλά και η μοντελοποίηση της παρατηρούμενης συμπεριφοράς ενός έξυπνου πράκτορα μέσα σε κάποιο περιβάλλον.

Πότε όμως μία βάση γνώσης είναι πολύτιμη; Μία βάση γνώσης μας είναι χρήσιμη μόνο όταν η γνώση που αυτή περιέχει είναι πράγματι *αληθής*, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στον πραγματικό κόσμο. Αυτόματα το ενδιαφέρον στρέφεται στην αξιολόγηση των βάσεων γνώσης. Έτσι η έννοια *οντολογία*, που είναι τομέας της φιλοσοφίας που ασχολείται με την α priori φύση της πραγματικότητας, μας είναι χρήσιμη στο να χτίζουμε βάσεις γνώσης υψηλού επιπέδου. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελούν ένα εργαλείο αξιολόγησης. Άλλες χρήσεις των οντολογιών στην Τεχνητή Νοημοσύνη αφορούν την κατανόηση της φυσικής γλώσσας και την απόκτηση γνώσης από κάποιον πράκτορα.

Πρέπει να ξεκαθαρίσουμε ότι η οντολογία είναι μία μέθοδος με την οποία χειριζόμαστε τις βάσεις γνώσης και όχι το περιεχόμενο αυτών, όπως συχνά λάθος χρησιμοποιείται ο όρος αυτός. Η μέθοδος αυτή τα τελευταία χρόνια αρχίζει να κερδίζει έδαφος και ολοένα περισσότεροι επιστήμονες ασχολούνται με ζητήματα μοντελοποίησης του κόσμου. Όπως αναφέραμε νωρίτερα η έρευνα αρχικά επικεντρώθηκε στις συλλογιστικές διαδικασίες και όχι τόσο στην περιγραφή του κόσμου. Ένας λόγος για αυτό είναι η διεπιστημονικότητα που απαιτείται για την έρευνα στο πεδίο αυτό και η δυσκολία που αυτή εμπεριέχει.

## ***Επιστημολογία, Οντολογία και Τυπική Οντολογία***

Είναι χρήσιμο πριν προχωρήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος να διαχωρίσουμε κάποιες βασικές έννοιες που συχνά συγχέονται μεταξύ τους.

- ❖ Ως *Επιστημολογία (Epistemology)* μπορεί να οριστεί εκείνο το πεδίο της Φιλοσοφίας που ασχολείται με τη φύση και τις πηγές της γνώσης (Nutter, 1987).
- ❖ Από την άλλη πλευρά, *Οντολογία* είναι η μελέτη της οργάνωσης και φύσης του κόσμου, ανεξάρτητα από τη γνώση που έχουμε εμείς γι' αυτόν.
- ❖ Τέλος, *Τυπική Οντολογία* είναι η συστηματική, τυπική, αξιωματική ανάπτυξη κάθε μορφής λογικής και τρόπου ύπαρξης (Cocchiarella, 1991).

Ουσιαστικά μια τυπική οντολογία αφορά τις α priori διακρίσεις μεταξύ των οντοτήτων του κόσμου, καθώς και μεταξύ των μετα-κατηγοριών που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση του κόσμου (έννοιες, ιδιότητες, καταστάσεις κλπ).

## ***Ορισμός της Οντολογίας***

Με τον όρο οντολογία συχνά αναφερόμαστε σε μία κοινή αντίληψη για κάποιο πεδίο ενδιαφέροντος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα ενωτικό πλαίσιο για να λύσουμε τα προβλήματα που αναφέρθηκαν, με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα ενσωματώνει κάποιου είδους αντίληψη του κόσμου ως ένα σύνολο εννοιών, των ορισμών τους και των μεταξύ τους σχέσεων. Η αντίληψη αυτή συχνά αναφέρεται ως εννοιολογική σύλληψη. Αυτή είναι και η πιο διαδεδομένη χρήση του όρου οντολογία.

Μία οντολογία μπορεί να πάρει διάφορες μορφές. Ανεξάρτητα από την μορφή της, όμως, απαραίτητα περιλαμβάνει ένα λεξιλόγιο όρων και ορισμούς αυτών. Οι μορφές μίας οντολογίας για παράδειγμα μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του βαθμού τυποποίησής της:

- ❖ Άτυπη: εκφρασμένη αμιγώς σε κείμενο φυσικής γλώσσας.
- ❖ Ημι-άτυπη: με τη χρήση κάποιας περιορισμένης και δομημένης μορφής κειμένου (ψευδογλώσσα).
- ❖ Σχεδόν τυπική: με τη χρήση μιας τεχνητής γλώσσας.
- ❖ Αυστηρά τυπική: αυστηρά ορισμένη με τη χρήση τυπικής γλώσσας με θεωρήματα και αποδείξεις ορθότητας και πληρότητας.

Στο πλαίσιο της επιστήμης της πληροφορικής, μία οντολογία καθορίζει ένα σύνολο θεμελιακών στοιχείων αναπαράστασης, για την μοντελοποίηση ενός πεδίου γνώσης ή λόγου. Τα θεμελιακά στοιχεία είναι συνήθως κλάσεις (ή σύνολα), γνωρίσματα (ή ιδιότητες) και σχέσεις. Οι ορισμοί των θεμελιακών στοιχείων περιλαμβάνουν πληροφορίες για το νόημά τους και περιορισμούς για την λογικά συνεπή εφαρμογή τους.

Στο πλαίσιο συστημάτων βάσεων δεδομένων, μια οντολογία μπορεί να εκληφθεί ως ένα αφαιρετικό επίπεδο μοντέλων δεδομένων, ανάλογο με ιεραρχικά και σχεσιακά μοντέλα, που προορίζεται για την μοντελοποίηση γνώσης σχετικής με μεμονωμένες οντότητες, τα γνωρίσματά τους και τις μεταξύ τους σχέσεις.

Οι οντολογίες είναι γραμμένες σε γλώσσες που επιτρέπουν μεγαλύτερη αφαίρεση σε σχέση με τις βάσεις δεδομένων. Στην πράξη οι γλώσσες αυτές είναι πιο κοντά στην πρωτοβάθμια λογική απ' ό,τι γλώσσες που χρησιμοποιούνται στην μοντελοποίηση βάσεων δεδομένων. Για το λόγο αυτό λέγεται ότι οι οντολογίες βρίσκονται στο σημασιολογικό επίπεδο, ενώ οι αναπαραστάσεις βάσεων δεδομένων στο λογικό ή φυσικό επίπεδο.

Λόγω της ανεξαρτησίας τους από τα μοντέλα δεδομένων, οι οντολογίες χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωση ετερογενών βάσεων δεδομένων, επιτρέποντας την δια-λειτουργικότητα μεταξύ ξένων συστημάτων, και καθορίζοντας τις διεπαφές για υπηρεσίες που στηρίζονται σε βάσεις δεδομένων (Gruber, 2008).

## ***Γλώσσες Οντολογιών***

Σε τι γλώσσα, όμως, γράφεται μία οντολογία; Ίσως η πιο προφανής απάντηση σε αυτήν την περίπτωση είναι μόνο εν μέρει αληθής. Μία οντολογία, μία μοντελοποίηση του πραγματικού κόσμου, μπορεί να γραφτεί σε λογική πρώτου βαθμού (ΛΠΒ, ή κατηγορηματική λογική). Η ΛΠΒ μας δίνει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για κάτι τέτοιο και επιπλέον έχει το χαρακτηριστικό ότι είναι αρκετά ουδέτερη γλώσσα, ικανή να εκφράσει γενικές ιδέες, χωρίς περιορισμούς. Σίγουρα αυτό εκ πρώτης όψεως φαίνεται ως ένα πολύ ισχυρό πλεονέκτημα. Η πραγματικότητα, όμως, είναι λίγο διαφορετική, διότι σε μία οντολογία τελικά αυτό που μας ενδιαφέρει δεν είναι η ουδετερότητα και η γενικότητα έκφρασης. Όταν θέλουμε να αναπαραστήσουμε ένα κομμάτι του πραγματικού κόσμου, τότε αποφάσεις (οντολογικές αποφάσεις) πρέπει να παρθούν, επιλογές πρέπει να γίνουν και περιορισμοί πρέπει να ασκηθούν. Βλέπουμε εδώ ότι το λογικό και το οντολογικό επίπεδο δεν ταυτίζονται, παρότι είναι αρκετά συναφή.

Έτσι οι περισσότερες τυποποιήσεις αναπαράστασης γνώσης εισάγουν σε γλώσσες όπως η ΛΠΒ, επιπλέον δομή και πλαίσιο ώστε να περιγράφουν μέσω μετα-κατηγοριών και μετα-συναρτήσεων σχέσεις μεταξύ στοιχείων γνώσης. Με τον τρόπο αυτό κατορθώνεται η περιγραφή σχέσεων μεταξύ αντικειμένων του κόσμου, που από μόνη της μια γλώσσα όπως η ΛΠΒ δεν μπορεί να περιγράψει.

Βέβαια, η ΛΠΒ είναι ίσως ο πιο απλοϊκός και αδέξιος τρόπος να γράψουμε μία οντολογία, την ώρα που δεκάδες γλώσσες έχουν αναπτυχθεί ακριβώς για τον σκοπό αυτό. Σε επόμενη παράγραφο θα αναφερθούμε σε αυτές τις γλώσσες (DOL, OWL, κλπ). Πριν φτάσουμε σε εκείνο το

σημείο καλό είναι να δούμε λίγα παραπάνω πράγματα για το οντολογικό επίπεδο ανάλυσης της γνώσης.

## Το Οντολογικό Επίπεδο

Η αξία των περιορισμών που μπορούν να ασκηθούν σε μία γλώσσα ώστε να γίνει καλύτερη η αναπαράσταση της γνώσης, είναι τόσο σημαντική ώστε μπορούμε να χαρακτηρίσουμε μια γλώσσα βάση αυτής της ιδιότητας. Έτσι, λέμε ότι μία τυποποίηση ανήκει στο *οντολογικό επίπεδο*, όταν ακριβώς το επίπεδο των περιορισμών είναι τέτοιο ώστε η τυποποίηση να είναι περιγραφική του πραγματικού κόσμου (Guarino N. , 1995).

Επίπεδο	Θεμελιακά Στοιχεία	Ερμηνεία	Κύρια Ιδιότητα
Λογικό	Κατηγορήματα, συναρτήσεις	Αυθαίρετη	Τυποποίηση
Επιστημολογικό	Δομικές σχέσεις	Αυθαίρετη	Δομή
<b>Οντολογικό</b>	Οντολογικές σχέσεις	Περιορισμένη	Νόημα
Εννοιολογικό	Εννοιολογικές σχέσεις	Υποκειμενική	Σύλληψη
Γλωσσολογικό	Γλωσσολογικοί όροι	Υποκειμενική	Γλωσσική εξάρτηση

Πίνακας 1:Το Οντολογικό Επίπεδο.

Στο οντολογικό επίπεδο μπορούν να συμβούν δύο πράγματα για τον περιορισμό της ερμηνείας: είτε πραγματοποιείται ο κατάλληλος περιορισμός της σημασιολογίας των θεμελιακών στοιχείων, είτε εισάγονται σημασιολογικά αξιώματα γραμμένα στην ίδια τη γλώσσα της τυποποίησης.

Ακόμα, ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι η διάκριση μεταξύ δομικών και μη-δομικών σχέσεων. *Δομικές σχέσεις* είναι αυτές που δίνουν πληροφορία για την ταξινομική δομή της οντολογίας και μπορεί να είναι μοναδιαίες, δυαδικές ή και περισσοτέρων θέσεων σχέσεις. Το σύνηθες είναι να συναντούμε σε μία οντολογία ως μοναδιαίες δομικές σχέσεις κάποιες *έννοιες*, *είδη* ή *τύπους*, ενώ παραδείγματα δυαδικών είναι οι *ρόλοι* και τα *γνωρίσματα*. Βέβαια η πληθικότητα (arity) μιας σχέσης δεν δεσμεύει και τον χαρακτηρισμό αυτής καθώς, για παράδειγμα, τίποτα δεν απαγορεύει μία έννοια να είναι δυαδική δομική σχέση. Αντίστοιχα, μοναδιαίες μη-δομικές σχέσεις μπορεί να είναι κάποιες *ιδιότητες*, ενώ δυαδικές κάποιοι *περιορισμοί*.

Παράλληλα, όπως προτείνεται από τους Guarino et al (Guarino, Carrara, & Giaretta, 1994), μπορούμε και πρέπει να διαχωρίζουμε τα μοναδιαία κατηγορήματα σε ταξινομικά και μη. Σε αυτή την κατεύθυνση είναι χρήσιμη η θεωρία του Strawson (1959), σύμφωνα με τον οποίο ταξινομικά κατηγορήματα «είναι αυτά που παρέχουν κάποια αρχή για να ξεχωρίζουμε και να μετράμε τα

άτομα μιας κατηγορίας» (πχ μήλο), ενώ μη-ταξινομικά «είναι αυτά που παρέχουν κάποια αρχή για να ξεχωρίζουμε άτομα/στοιχεία μιας ήδη υπάρχουσας κατηγορίας» (πχ κόκκινο).

Στον διαχωρισμό που μόλις περιγράψαμε, καθώς και σε πολλά άλλα θέματα των οντολογιών, λύση δίνουν οι θεωρίες της *μερεολογίας* (*mereology*) και *τοπολογίας* (*topology*) που θα περιγράψουμε στην επόμενη παράγραφο. Στη βάση αυτή, οι Guarino et al (1994) εισάγουν τις έννοιες της *αριθμησιμότητας* (*countability*), της *χρονικής σταθερότητας* (*temporal stability*) και *οντολογικής ακαμψίας* (*ontological rigidity*). Περιληπτικά, ένα κατηγορημα είναι *αριθμήσιμο* εάν όταν ισχύει για ένα αντικείμενο  $x$ , δεν ισχύει για κάποιο μέρος του ίδιου αντικειμένου. Όμοια, ένα κατηγορημα είναι *χρονικά σταθερό* εάν όταν ισχύει για κάποιο αντικείμενο  $x$  μία χρονική στιγμή, ισχύει για το ίδιο αντικείμενο και οποιαδήποτε άλλη στιγμή. Τέλος, ένα κατηγορημα είναι *οντολογικά άκαμπτο* εάν όταν ισχύει για κάποιο αντικείμενο, ισχύει για το ίδιο αντικείμενο σε οποιονδήποτε πιθανό κόσμο. Ας δούμε, όμως, αναλυτικότερα τις θεωρίες που μας εξοπλίζουν με τέτοια εργαλεία για την διαχείριση των βάσεων γνώσης.

## **Μερεολογία και Τοπολογία**

Στην υλοποίηση των οντολογιών και στα ζητήματα που προκύπτουν για τις σχέσεις μεταξύ στοιχείων και το είδος αυτών των σχέσεων, αρωγοί είναι οι θεωρίες της *μερεολογίας* (*mereology*) και της *τοπολογίας* (*topology*).

### **Μερεολογία**

Η μερεολογία ασχολείται με τα μέρη: δηλαδή ερευνά τη σχέση δύο στοιχείων, όταν το ένα είναι μέρος του άλλου. Μορφές αυτής της θεωρίας συναντάμε ήδη στην Αρχαία Ελληνική Φιλοσοφία, ενώ οι σύγχρονες εκφράσεις της δεν περιορίζονται σε κάποια μερική διάταξη στοιχείων, αλλά αποτελούν εργαλείο για την περιγραφή του κόσμου. Η πρωταρχική σχέση μίας μερεολογίας μπορεί να είναι για παράδειγμα ' $x$  είναι μέρος του  $y$ ', ' $x$  είναι επέκταση του  $y$ ' κλπ. Ακόμη, έχει διατυπωθεί πως η μερεολογία είναι ανάλογη θεωρία της θεωρίας συνόλων. Άλλωστε η χρήση της σε πεδία όπως αυτό της Τεχνητής Νοημοσύνης αποδεικνύει την χρησιμότητά της και μένει να δούμε μέχρι ποιο σημείο είναι επαρκής για την μοντελοποίηση του φυσικού κόσμου. Αδυναμίες σίγουρα υπάρχουν.

### **Τοπολογία**

Τις αδυναμίες, ωστόσο, της μερεολογίας (όπως προκύπτουν από την έρευνα σε διάφορα πεδία) έρχεται -ως ένα βαθμό κι αυτή- να καλύψει η τοπολογία. Η τοπολογία είναι μια μαθηματική θεωρία που ασχολείται με τις ιδιότητες του χώρου που διατηρούνται κάτω από συνεχείς παραμορφώσεις. Υπάρχουν διάφορες σκοπιές από τις οποίες μπορούμε να θεωρήσουμε την σχέση μεταξύ μερεολογίας και τοπολογίας. Για παράδειγμα, η τοπολογία μπορεί να θεωρηθεί ως

επέκταση της μερεολογίας, που προσθέτει σ' αυτήν εκφραστικότητα και σε αυτήν την περίπτωση η μερεολογία αποτελεί τη βασική θεωρία. Αυτή είναι και η επικρατέστερη θεώρηση της τοπολογίας και εισήχθη από τον Tarski (1929) στη Γεωμετρία των στερεών του, ενώ υιοθετήθηκε και από τον Lejewski (1982). Το κέρδος από την εισαγωγή της τοπολογίας είναι η ικανότητα που μας δίνει να χειριζόμαστε έννοιες όπως *συνεκτικότητα* και *συμπάγεια*, που η μερεολογία αδυνατεί να περιγράψει (Varzi, 1994).

## **Χρησιμότητα των Οντολογιών**

Στον σύγχρονο κόσμο υπάρχει η ανάγκη άνθρωποι, οργανώσεις και λογισμικά συστήματα να επικοινωνούν μεταξύ τους (Guarino N. , 1995). Ωστόσο, καθένα από αυτά τα συστήματα πιθανά να χρησιμοποιεί διαφορετική ορολογία ή/και να χρησιμοποιεί διαφορετικές έννοιες και σχέσεις για να καλύψει ένα συγκεκριμένο θέμα. Έτσι δημιουργείται ένα πρόβλημα επικοινωνίας μεταξύ αυτών, δηλαδή μία έλλειψη κοινής αντίληψης. Με τη σειρά του αυτό προκαλεί ένα ντόμινο προβλημάτων, που αφορούν κυρίως τα λογισμικά συστήματα, όπως κακή διαλειτουργικότητα και δυσκολία στην επανάχρηση και τον διαμοιρασμό.

Λύση σ' αυτό το πρόβλημα αποτελεί η απόκτηση μιας κοινής αντίληψης, που θα αποτελεί το πλαίσιο επικοινωνίας των προαναφερθέντων συστημάτων. Αν αυτό κατορθωθεί τα πλεονεκτήματα θα είναι πολλά, καθώς τότε η διαλειτουργικότητα μεταξύ συστημάτων και η επικοινωνία θα καταστούν πολύ απλές λειτουργίες.

Η ύπαρξη μιας κοινής αντίληψης, θα επιφέρει άμεσα οφέλη στα διεπιστημονικά πεδία έρευνας. Για παράδειγμα, η έρευνα στα πεδία της Τεχνητής Νοημοσύνης, της Θεωρίας Αποφάσεων και της Θεωρίας Κατανεμημένων Συστημάτων είναι παραπάνω από συναφής. Ωστόσο, η έλλειψη μιας κοινής αντίληψης δεν επιτρέπει την χρήση των αποτελεσμάτων της μίας από την άλλη. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με την ανάπτυξη ενός συνδεδετικού εννοιολογικού πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα, οι αντίστοιχες έννοιες των πεδίων αυτών πρέπει να αναγνωριστούν, καθώς και να επιλεγούν οι σημαντικές σχέσεις μεταξύ εννοιών του κάθε πεδίου. Σκοπός είναι η δημιουργία μιας *lingua franca*<sup>2</sup>, ώστε όταν έχουμε κάποιο σημαντικό αποτέλεσμα σε κάποιο πεδίο έρευνας, να εξετάζεται το ενδεχόμενο μετάφρασης αυτού στα άλλα πεδία.

Στη βιβλιογραφία οι περιγραφές για τις οντολογίες ποικίλουν. Κάποιοι βλέπουν τις οντολογίες σαν ένα μέσο οικοδόμησης βάσεων γνώσης, άλλοι τις βλέπουν ως μέρος των βάσεων γνώσης, ενώ υπάρχει και η άποψη ότι αποτελούν ή πρέπει να αποτελέσουν μια *lingua franca*.

---

<sup>2</sup> Μία γλώσσα «γέφυρα» για την μετάφραση διαφορετικών γλωσσών. Ο όρος υποδηλώνει τις κοινές γλώσσες που δημιουργήθηκαν στην ανθρώπινη ιστορία, κυρίως για χρήση στο διεθνές εμπόριο. Μάλιστα, ο ίδιος ο όρος προέρχεται από μία τέτοια γλώσσα, την *Mediterranean Lingua Franca*. Για παράδειγμα, σήμερα η αγγλική γλώσσα χρησιμοποιείται ως *lingua franca* στη διεθνή διπλωματία.

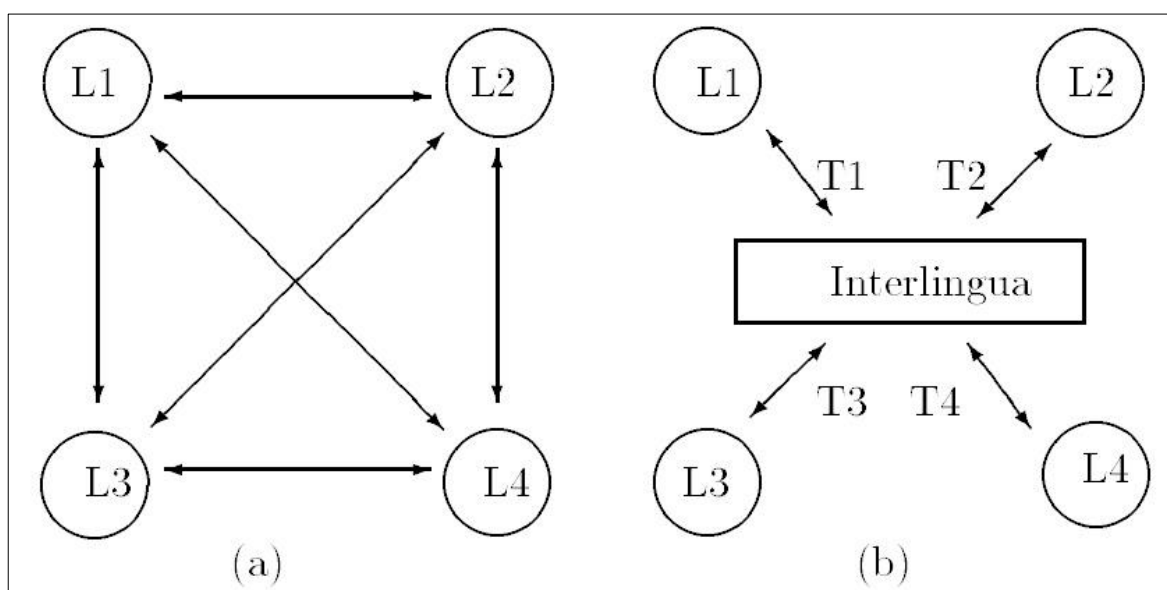
Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω ως δούμε σε σημεία τη χρησιμότητα των οντολογιών, όσον αφορά την επικοινωνία, τη διαλειτουργικότητα και τα οφέλη της τεχνολογίας συστημάτων.

### **Επικοινωνία**

Γίνεται εφικτή η επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων με διαφορετικές ανάγκες και απόψεις που προκύπτουν από τα διαφορετικά πλαίσια.

### **Διαλειτουργικότητα**

Διευκολύνεται η διαλειτουργικότητα μεταξύ συστημάτων με διαφορετικές μεθόδους τυποποίησης. Οι οντολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάφραση διαφορετικών γλωσσών και αναπαραστάσεων. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε πως με τη χρήση μιας lingua franca μπορούμε να γλιτώσουμε έναν σημαντικό αριθμό μεταφράσεων  $T_i$  ώστε να έχουμε έναν πλήρη οδηγό μετάφρασης μεταξύ των γλωσσών  $L_i$ .



Εικόνα 7: Η μετάφραση γλωσσών (a) χωρίς και (b) με τη χρήση μιας lingua franca.

### **Οφέλη Τεχνολογίας Συστημάτων**

#### **❖ Επανάχρηση**

Στη βάση μίας κοινής αντίληψης μπορούμε να στηριχτούμε για την τυπική κωδικοποίηση εννοιών και σχέσεων σε κάποιο πεδίο ενδιαφέροντος. Τότε η κωδικοποίηση αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επανειλημμένα και να διαμοιραστεί μέσω κάποιου λογισμικού.

#### **❖ Αξιοπιστία**

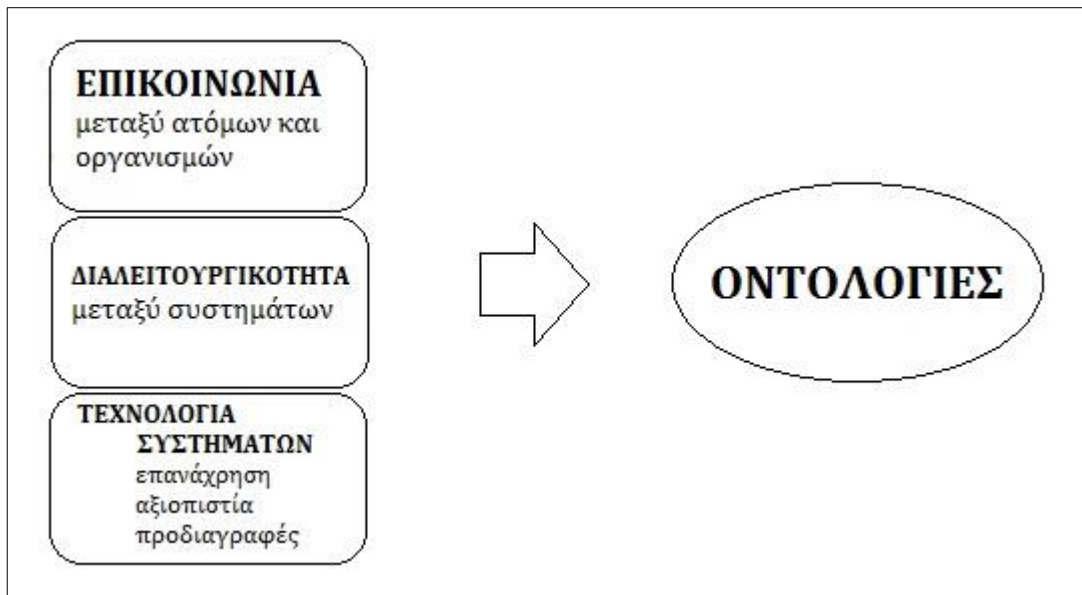
Μια τυπική αναπαράσταση είναι εύκολο να επαληθεύεται και να υπόκειται σε ελέγχους και συνεπώς να είναι πιο αξιόπιστη. Με τις οντολογίες διευκολύνεται η χρήση



αυτοματοποιημένων ελέγχων συνέπειας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των διαφόρων ομάδων που εμπλέκονται σε κάποιο σύστημα.

❖ **Προδιαγραφές**

Δοθείσης μιας κοινής αντίληψης μπορούμε να αναγνωρίσουμε τα προαπαιτούμενα ενός προβλήματος και να ορίσουμε τις προδιαγραφές του επιθυμητού πληροφοριακού συστήματος, παρακάμπτοντας τις διαφορετικές ορολογίες διαφόρων εμπλεκόμενων ομάδων.



Εικόνα 8: Η χρησιμότητα των Οντολογιών.

## **Μεθοδολογία Κατασκευής Οντολογιών**

Πλέον υπάρχει μεγάλη εμπειρία στη δημιουργία και χρήση οντολογιών. Παρ' όλα αυτά, δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία για τη διαδικασία κατασκευής τους. Μία σκιαγράφιση της διαδικασίας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

❖ **Εξακρίβωση προθέσεων και σκοπού**

Αρχικά απαντάμε σε ερωτήματα όπως γιατί θέλουμε την κατασκευή της συγκεκριμένης οντολογίας και τι χρήσεις προτίθεται να έχει. Είναι χρήσιμο να εκτιμάται ποιοι θα είναι οι πιθανοί χρήστες της οντολογίας.

#### ❖ **Κατασκευή οντολογίας**

- Σύλληψη οντολογίας
  - i. Εντοπισμός των κρίσιμων εννοιών και σχέσεων.
  - ii. Παραγωγή σαφών ορισμών κειμένου για τις παραπάνω έννοιες και σχέσεις.
  - iii. Διαλογή των όρων αναφοράς σε αυτές τις έννοιες και τις σχέσεις.
- Κωδικοποίηση οντολογίας  
Επιλογή της γλώσσας κωδικοποίησης και γράψιμο κώδικα, συμπεριλαμβάνοντας τους κρίσιμους όρους που επιλέχθηκαν.
- Ενσωμάτωση ήδη υπάρχουσών οντολογιών  
Πώς και πότε να γίνεται χρήση (μέρους ή ολόκληρων) ήδη υπάρχουσών οντολογιών. Ίσως αποτελεί την μεγαλύτερη πρόκληση.

#### ❖ **Αξιολόγηση**

Η πραγματοποίηση μιας τεχνικής αξιολόγησης της οντολογίας σύμφωνα με ένα πλαίσιο αναφοράς. Το πλαίσιο μπορεί να περιλαμβάνει κάποιες προϋποθέσεις ή competency questions.

#### ❖ **Ταξινόμηση/καταγραφή**

Είναι χρήσιμο να υπάρχει κάποια μεθοδολογία ταξινόμησης και καταγραφής της οντολογίας.

### ***Γενικές Κατευθυντήριες Γραμμές***

Τα παραπάνω σημεία είναι καλό να τηρούνται κατά το σχεδιασμό μίας οντολογίας, παρ' όλα αυτά σε διαδικασίες σχεδιασμού υπεισέρχεται έντονα το στοιχείο της υποκειμενικότητας. Έτσι, δεν μπορεί να οριστεί μια αυστηρή διαδικασία. Είναι καλό για όλα τα παραπάνω στάδια να υπάρχουν κάποιες γενικές οδηγίες, τεχνικές, μέθοδοι ή αρχές. Τέτοιες αρχές μπορεί να είναι:

#### ❖ **Σαφήνεια**

Ελαχιστοποίηση ασάφειας των διαδικασιών, με τη χρήση παραδειγμάτων για κάθε ένα από τα παραπάνω στάδια.

#### ❖ **Συνέπεια**

Μία οντολογία πρέπει να είναι συνεπής –τουλάχιστον, λογικά συνεπής.

❖ **Επεκτασιμότητα**

Ο σχεδιασμός πρέπει να γίνεται με γνώμονα την μελλοντική ικανότητα επέκτασης και εξειδίκευσης της οντολογίας. Νέοι όροι θα πρέπει να είναι εφικτό να οριστούν.

❖ **Ελαχιστοποίηση οντολογικών περιορισμών**

Πρέπει να γίνονται όσο το δυνατόν λιγότερες παραδοχές για τον κόσμο που μοντελοποιείται. Ωστόσο, στο άλλο άκρο, πάρα πολύ λίγοι περιορισμοί μπορεί να καταστήσουν την οντολογία συνεπή με λανθασμένους ή ανεπιθύμητους κόσμους.

❖ **Ανεξαρτησία κωδικοποίησης**

Η σύλληψη της οντολογίας δεν πρέπει να εξαρτάται από την κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται και επιλογές που γίνονται κατά την τυποποίηση.

# Υπεροντολογίες (Hyperontologies)

## Εισαγωγή

Θα επιχειρήσουμε να περιγράψουμε με αρκετά ικανοποιητικό τρόπο, ωστόσο περιληπτικό, την έννοια των υπεροντολογιών όπως αυτές εισάγονται στο (Kutz, Mossakowski, & Lucke, 2010). Στο άρθρο αυτό επιχειρείται η σκιαγράφηση του σχεδιασμού τυπικών οντολογιών, με την υιοθέτηση δύο αρχών. Η πρώτη αρχή ανήκει στον Rudolf Carnap και έχει να κάνει με την αναγωγή του πλουραλισμού των λογικών γλωσσών σε κεντρική ιδέα για τον σχεδιασμό οντολογιών. Η δεύτερη αρχή αφορά την εισαγωγή, από τους Joseph Goguen και Rod Burstall, της *θεωρίας θεσμών* (institution theory) για τη δόμηση και το συνδυασμό οντολογιών με σημασιολογικά καλά ορισμένο τρόπο. Με τη βοήθεια της θεωρίας θεσμών θα δούμε πώς ορίζονται σχέσεις για το συνδυασμό και αντιστοίχιση οντολογιών και συγκεκριμένα των σχέσεων: integration, connection, και refinement.

Οι οντολογίες αφορούν στην ουσία τους κάποιες κοινές αποδοχές μεταξύ ειδικών, για τη σημασιολογία συγκεκριμένων όρων γύρω από ένα θέμα. Στην τυποποίηση των οντολογιών αξιοποιείται ένας μεγάλος αριθμός λογικών γλωσσών με διαφορετικές δυνατότητες έκφρασης και τρόπους επιχειρηματολογίας. Η αποδοχή του πλουραλισμού αυτού των λογικών γλωσσών συνεπάγεται μία αντίστοιχη στάση και με τις οντολογίες. Παρ' ότι έχουν γίνει προσπάθειες για το σχεδιασμό καθολικών οντολογιών, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται σε όλα τα πεδία, αυτές βρήκαν σημαντικά εμπόδια. Αυτό οδήγησε πολλούς στην αποδοχή της κατάστασης ότι υπάρχουν διαφορετικά είδη οντολογιών που στοχεύουν το καθένα σε άλλα πεδία εφαρμογής και είναι γραμμένες σε διαφορετικές γλώσσες. Αυτό δημιουργεί και απαιτήσεις ως προς τους τρόπους επιχειρηματολογίας.

Ακόμα και έτσι η κλασική λογική εξακολουθεί να αποτελεί τον κυρίαρχο τρόπο επιχειρηματολογίας. Ωστόσο, σε κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές γίνεται με ξεκάθαρο τρόπο αντιληπτή η ανάγκη περιθωριοποίησης του κλασικού τρόπου επιχειρηματολογίας και η υιοθέτηση αντί αυτού διάφορων άλλων τρόπων (π.χ. επιχειρηματολογία με αβεβαιότητα, μη-μονοτονική κ.ά.).

Μια προσέγγιση για το σχεδιασμό οντολογιών δεν απαιτεί μόνο την υιοθέτηση διαφορετικών τρόπων επιχειρηματολογίας, αλλά και την ανάπτυξη τεχνικών για το συνδυασμό και την ενσωμάτωση οντολογιών γραμμένων σε διαφορετικές γλώσσες. Ουσιαστικά έχουμε τη μετάφραση του λογικού πλουραλισμού σε κάτι που μπορούμε να αποκαλέσουμε οντολογικό πλουραλισμό. Αποδεχόμενοι, λοιπόν, τον οντολογικό πλουραλισμό η εφαρμογή συγκεκριμένων δομικών και συνδυαστικών αρχών από τη θεωρία θεσμών, μας οδηγεί στη θεωρία των

Υπεροντολογιών. Οι Υπεροντολογίες αποτελούν οντολογίες ετερογενώς δομημένες, ή αλλιώς καταναμημένα δίκτυα οντολογιών γραμμένων σε διαφορετικές γλώσσες τυποποίησης.

## Χρήσιμοι Ορισμοί

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω έχουμε ότι η θεωρία θεσμών ανάγεται σε θεωρία κλειδί όσον αφορά τις απαραίτητες συνδυαστικές αρχές που χρειάζονται στην ανάπτυξη υπερωντολογιών. Η θεωρία θεσμών εισήχθη από τους Goguen και Burstall στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Αρχικά παραθέτουμε τον ορισμό του θεσμού. Για όσα επακολουθούν χρήσιμη είναι η όποια εξοικείωση με τη θεωρία κατηγοριών.

**Ορισμός 1:** Ένας *θεσμός* (*institution*) είναι ένα τετραπλό  $I = (\text{Sign}, \text{Sen}, \text{Mod}, \models)$  αποτελούμενο από τα εξής:

1. Μία κατηγορία *Sign* από signatures,
2. Έναν συναρτητή  $\text{Sen} : \text{Sign} \rightarrow \text{Set}$  ο οποίος αποδίδει σε κάθε signature  $\Sigma$ , ένα σύνολο προτάσεων  $\text{Sen}(\Sigma)$  και σε κάθε μορφισμό  $\sigma : \Sigma \rightarrow \Sigma'$ , έναν χάρτη μετάφρασης προτάσεων  $\text{Sen}(\sigma) : \text{Sen}(\Sigma) \rightarrow \text{Sen}(\Sigma')$ , όπου συχνά αντί για  $\text{Sen}(\sigma)(\varphi)$  γράφουμε απλά  $\sigma(\varphi)$ .
3. Έναν συναρτητή  $\text{Mod} : \text{Sign}^{op} \rightarrow \text{CAT}$  ο οποίος αποδίδει σε κάθε signature  $\Sigma$ , μία κατηγορία από μοντέλα  $\text{Mod}(\Sigma)$  και σε κάθε μορφισμό  $\sigma : \Sigma \rightarrow \Sigma'$ , έναν περιοριστικό συναρτητή  $\text{Mod}(\sigma) : \text{Mod}(\Sigma) \rightarrow \text{Mod}(\Sigma')$ , όπου συχνά αντί για  $\text{Mod}(\sigma)(M')$  γράφουμε  $M'|_{\sigma}$  και λέμε ότι το  $M'|_{\sigma}$  είναι ένας  $\sigma$ -περιορισμός του  $M'$  και το  $M'$  καλείται  $\sigma$ -επέκταση του  $M'|_{\sigma}$ .
4. Μία σχέση  $\models_{\Sigma} \subseteq |\text{Mod}(\Sigma)| \times \text{Sen}(\Sigma)$  για κάθε  $\Sigma \in |\text{Sign}|$ , τέτοια ώστε για κάθε  $\sigma : \Sigma \rightarrow \Sigma'$  στο *Sign* να ικανοποιείται η σχέση:  $M' \models_{\Sigma'} \sigma(\varphi)$  αν και μόνο αν  $M'|_{\sigma} \models_{\Sigma} \varphi$  για κάθε  $M' \in |\text{Mod}(\Sigma')|$  και  $\varphi \in \text{Sen}(\Sigma)$ . Η σχέση αυτή υποδηλώνει ότι η τιμή αλήθειας μίας πρότασης είναι ανεξάρτητη από την τυποποίηση στην οποία είναι γραμμένη.

■

Το ξεχωριστό πλεονέκτημα της θεωρίας θεσμών είναι η δυνατότητα που μας δίνει παρέχοντας δομικές λειτουργίες και συνδυαστικές αρχές ανεξαρτήτως της χρησιμοποιούμενης τυποποίησης. Στις οντολογίες η βασική δομική λειτουργία, από την οποία προκύπτουν νέες οντολογίες, είναι αυτή της εισαγωγής οντολογιών (importing). Η έννοια αυτή καλύπτεται από τη θεωρία θεσμών με τη βοήθεια του development graph.

**Ορισμός 2:** Ένα *development graph* είναι ένα ακυκλικό, κατευθυνόμενο γράφημα  $\mathcal{DG} = \langle \mathcal{N}, \mathcal{L} \rangle$ . Το  $\mathcal{N}$  είναι το σύνολο των κόμβων του γραφήματος. Κάθε κόμβος  $N \in \mathcal{N}$  χαρακτηρίζεται από ένα ζεύγος  $(\Sigma^N, \Psi^N)$  τέτοιο ώστε  $\Sigma^N$  είναι ένα signature και  $\Psi^N \subseteq \text{Sen}(\Sigma^N)$  είναι ένα σύνολο από τοπικά αξιώματα του κόμβου  $N$ . Το  $\mathcal{L}$  είναι ένα σύνολο από κατευθυνόμενα links, που καλούνται definition links  $(K \xrightarrow{\sigma} N)$  δηλαδή μορφισμούς από signature ενός κόμβου σε signature άλλου κόμβου, και συμβολίζονται με μορφισμούς  $\sigma: \Sigma^K \rightarrow \Sigma^N$ . Υπάρχουν επίσης και τα hiding definition links  $(K \xrightarrow[h]{\sigma} N)$  τα οποία συμβολίζονται με μορφισμούς  $\sigma: \Sigma^N \rightarrow \Sigma^K$  με φορά αντίθετη από αυτήν του link.

Δοθέντος ενός κόμβου  $N \in \mathcal{N}$ , η συσχετιζόμενη με αυτόν κλάση μοντέλων  $\text{Mod}_{\mathcal{DG}}(N)$  (ή για συντομία τα  $N$ -μοντέλα) ορίζεται επαγωγικά να αποτελείται από τα  $\sigma^N$ -μοντέλα  $M$  για τα οποία ισχύουν τα εξής:

- ❖ Το  $M$  ικανοποιεί τα τοπικά αξιώματα  $\Psi^N$ ,
- ❖ Για κάθε  $K \xrightarrow{\sigma} N \in \mathcal{DG}$  το  $M|_{\sigma}$  είναι ένα  $K$ -μοντέλο και
- ❖ Για κάθε  $K \xrightarrow[h]{\sigma} N \in \mathcal{DG}$  το  $M$  έχει μία  $\sigma$ -επέκταση  $M'$  (δηλαδή,  $M'|_{\sigma} = M$ ) που είναι ένα  $K$ -μοντέλο. ■

Δημιουργείται με τη βοήθεια του παραπάνω ορισμού μια σημασιολογία βασισμένη στα μοντέλα και η οποία μπορεί να επεκταθεί στις θεωρίες του κάθε κόμβου. Πιο συγκεκριμένα, δοθέντος ενός κόμβου  $N \in \mathcal{N}$ , η σχετιζόμενη με αυτόν θεωρία  $\text{Th}_{\mathcal{DG}}(N)$  ορίζεται επαγωγικά να αποτελείται από:

- ❖ Όλα τα αξιώματα  $\Psi^N$  και
- ❖ Για κάθε  $K \xrightarrow{\sigma} N \in \mathcal{DG}$ , όλες τις θεωρίες  $\text{Th}_{\mathcal{DG}}(K)$  που μεταφράζονται από το  $\sigma$ .

Παρατηρούμε ότι η θεωρία ενός κόμβου συλλαμβάνει μόνο ένα μέρος της σημασιολογίας του, καθώς το  $\text{Mod}_{\mathcal{DG}}(N)$  είναι πάντα υποσύνολο του  $\text{Mod}_{\mathcal{DG}}(\text{Th}_{\mathcal{DG}}(N))$ .

Επιπρόσθετα στα definition links, τα οποία ορίζουν τις θεωρίες των κόμβων, υπάρχουν και τα theorem links από τα οποία μπορούμε να εξάγουμε σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών θεωριών. Ένα theorem link είναι μία ακμή  $K \xrightarrow{\sigma} \dots \rightarrow N$ , όπου  $\sigma: \Sigma^K \rightarrow \Sigma^N$ . Το  $\mathcal{DG}$  συνεπάγεται ένα theorem link  $K \xrightarrow{\sigma} \dots \rightarrow N$  (συμβ.  $\mathcal{DG} \models K \xrightarrow{\sigma} \dots \rightarrow N$ ) αν και μόνο αν για κάθε  $M \in \text{Mod}_{\mathcal{DG}}(N)$ ,  $M|_{\sigma} \in \text{Mod}_{\mathcal{DG}}(K)$ .

Με τη βοήθεια των παραπάνω ορισμών, αλλά και άλλων εργαλείων από τη θεωρία θεσμών, μπορούμε να αναπαραστήσουμε δίκτυα οντολογιών (πχ οντολογίες στην OWL) ως development graphs. Αυτό μας δίνει τη θεωρητική βάση για τη μοντελοποίηση πεδίων ενδιαφέροντος, και τη δυνατότητα να επιχειρηματολογούμε στα κατασκευασμένα μοντέλα, ή ακόμα και να αναπτύσσουμε και να χρησιμοποιούμε εργαλεία όπως theorem provers κ.ά. Το σημαντικότερο

όλων στοιχείο είναι ότι όλες αυτές οι δυνατότητες είναι ανεξάρτητες της επιλεχθείσας τυποποίησης.

Για να έχουμε μια πιο πλήρη σκιαγράφιση μένει να περιγράψουμε μία ακόμα θεμελιώδη έννοια στις διαδικασίες τυποποίησης. Όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, όπου περιγράφουμε τη γλώσσα DOL, κεντρικό ρόλο παίζει αυτό που αποκαλούμε γράφημα γλωσσών, καθώς και οι μεταφράσεις μεταξύ αυτών. Αυτές οι μεταφράσεις βασίζονται επίσης θεωρητικά στη θεωρία θεσμών και καλύπτονται από την έννοια του institution comorphism.

**Ορισμός 3:** Δοθέντων δύο θεσμών  $I$  και  $J$  με  $I = (\text{Sign}, \text{Sen}, \text{Mod}, \models)$  και  $J = (\text{Sign}', \text{Sen}', \text{Mod}', \models')$ , ένας *institution comorphism* από το  $I$  στο  $J$  αποτελείται από έναν συναρτητή  $\Phi : \text{Sign} \rightarrow \text{Sign}'$ , και από τους μετασχηματισμούς  $\beta : \text{Mod} \Rightarrow \text{Mod}' \circ \Phi$  και  $\alpha : \text{Sen} \Rightarrow \text{Sen}' \circ \Phi$ , ώστε να ικανοποιείται η σχέση  $M' \models'_{\Phi(\Sigma)} \alpha_\Sigma(\varphi) \Leftrightarrow \beta_\Sigma(M') \models'_\Sigma \varphi$ . ■

Στον παραπάνω ορισμό,  $\Phi(\Sigma)$  είναι η μετάφραση ενός signature  $\Sigma$  του θεσμού  $I$  στον θεσμό  $J$ ,  $\alpha_\Sigma(\varphi)$  είναι η μετάφραση της  $\Sigma$ -πρότασης  $\varphi$  σε μία  $\Phi(\Sigma)$ -πρόταση, και  $\beta_\Sigma(M')$  είναι η μετάφραση του  $\Phi(\Sigma)$ -μοντέλου  $M'$  σε ένα  $\Sigma$ -μοντέλο. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ορίσουμε την έννοια του subinstitution ως έναν institution comorphism με  $\Phi$  την ενσωμάτωση κατηγοριών,  $\alpha_\Sigma$  injective και  $\beta_\Sigma$  ισομορφισμό για κάθε  $\Sigma$ .

Το γράφημα γλωσσών που αναφέραμε νωρίτερα αναπαρίσταται με τη βοήθεια του Grothendieck institution. Το Grothendieck institution είναι μία τεχνική για να αποδίδεται σημασιολογία σε ετερογενείς θεωρίες που αφορούν ένα πλήθος θεσμών. Ένα signature σε ένα Grothendieck institution αποτελείται από ένα ζευγάρι  $(L, \Sigma)$  όπου  $L$  είναι μία λογική και  $\Sigma$  το signature σε αυτή τη λογική. Όμοια, ένας Grothendieck signature morphism  $(\rho, \sigma) : (L_1, \Sigma_1) \rightarrow (L_2, \Sigma_2)$  αποτελείται από μία μετάφραση λογικής (institution comorphism)  $\rho = (\Phi, \alpha, \beta) : L_1 \rightarrow L_2$  συν ένα  $L_2$ -signature morphism  $\sigma : \Phi(\Sigma_1) \rightarrow \Sigma_2$ .

Τέλος, μπορούμε με τη βοήθεια όλων των παραπάνω να ορίσουμε την έννοια της Υπεροντολογίας.

**Ορισμός 4:** Μία αφηρημένα δομημένη ετερογενής οντολογία (ως προς ένα γράφημα λογικών) είναι ένας κόμβος  $O$  ενός development graph  $\mathcal{DG}$  στο αντίστοιχο Grothendieck institution. Μπορούμε να αναφερόμαστε στην  $O$  και μέσω της θεωρίας της  $\text{Th}_{\mathcal{DG}}(O)$ , ωστόσο τότε δεν συλλαμβάνεται η δομή του γραφήματος. Από τη στιγμή που μπορούμε να εκλάβουμε το development graph ως μία συλλογή από οντολογίες συνδεδεμένων με κατάλληλα imports, alignments και refinements, τότε αυτό καλείται *Υπεροντολογία*. ■

Προκειμένου να γίνει ο παραπάνω ορισμός πιο κατανοητός, κάποια σημεία χρήζουν περεταίρω ανάλυσης. Μία αφηρημένα δομημένη ετερογενής οντολογία αποτελείται από επί μέρους οντολογίες, που η κάθε μία είναι τοποθετημένη σε έναν κόμβο ενός development graph. Κάθε κόμβος περιέχει ως πληροφορία τη λογική στην οποία είναι γραμμένη η αντίστοιχη οντολογία. Οι σχέσεις imports δίνονται από τα links του γραφήματος, όπως αυτά ορίστηκαν νωρίτερα. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα link αυτά θα είναι ομογενή, δηλαδή θα αναπαρίστανται από Grothendieck signature morphisms της μορφής  $(id, \sigma)$ . Αυτό σημαίνει ότι δεν αλλάζει η λογική, καθώς ο  $id$  είναι ο ταυτοτικός institution comorphism. Αντίστοιχα, μπορεί να συναντήσουμε τις περιπτώσεις  $(\rho, id)$  και  $(\rho, \sigma)$  με την αντίστοιχη σημασιολογία τους.

## Τρόποι Συσχέτισης των Οντολογιών

Ο πλουραλισμός των οντολογιών και η ανάγκη προκειμένου να επιτευχθούν ικανοποιητικές μοντελοποιήσεις πεδίων, επιτάσσει τη συσχέτιση και το συνδυασμό των οντολογιών. Για αυτό το σκοπό, οι οντολογίες μπορούν να συσχετιστούν με διάφορους τρόπους. Οι τρεις κυρίαρχες επιλογές που έχουμε είναι οι εξής:

1. Δύο οντολογίες μπορούν να συσχετιστούν προσδιορίζοντας έναν μεταφραστικό χάρτη μεταξύ τους που θα μεταφράζει τη μία στην άλλη. Ο τρόπος αυτός συσχέτισης καλείται *refinement*.
2. Δύο οντολογίες μπορούν να συσχετιστούν προσδιορίζοντας έναν μεταφραστικό χάρτη από κάθε οντολογία σε μία τρίτη οντολογία αναφοράς. Ο τρόπος αυτός συσχέτισης καλείται *integration*.
3. Δύο οντολογίες μπορούν να συσχετιστούν προσδιορίζοντας μία οντολογία διεπαφής, η οποία μπορεί να μεταφραστεί στις δύο οντολογίες. Η οντολογία διεπαφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μιας γενικότερης οντολογίας. Ο τρόπος αυτός συσχέτισης καλείται *connection*.



## **Οι Γλώσσες *OWL* και *DOL***

Σε προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε γενικά στις γλώσσες οντολογιών. Τέτοια μπορεί να είναι ουσιαστικά και οποιαδήποτε γλώσσα λογικής. Ωστόσο, μεγαλύτερο ενδιαφέρον αποτελούν τέτοιες γλώσσες για το Web, όπως είναι και οι *OWL* και *DOL* που θα δούμε σε αυτό το κεφάλαιο. Η αξιοποίηση των οντολογιών στο Web αποτελούν μέρος ενός μεγαλύτερου πλάνου για το μέλλον που είναι το Semantic Web.

### ***OWL***

Το Semantic Web αποτελεί ένα όραμα για το μέλλον του Web, στο οποίο οι πληροφορίες θα αποκτήσουν συγκεκριμένο νόημα, δηλαδή σημασιολογία. Έτσι οι μηχανές θα διευκολυνθούν ως προς τις διαδικασίες αυτόματης προσπέλασης και ενσωμάτωσης πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στο Web. Το Semantic Web στοχεύει να αξιοποιήσει και να χτίσει πάνω στα XML και RDF. Εν συντομία η XML είναι μία γλώσσα ετικετών στην οποία υπάρχει η δυνατότητα να ορίζουμε εμείς τις ετικέτες και μοιάζει πολύ στη λογική της με την HTML. Από την άλλη πλευρά το RDF δίνει τη δυνατότητα αναπαράστασης δεδομένων στο Web. Το τελευταίο στοιχείο που απαιτείται είναι η σημασιολογία που πρέπει να αποδοθεί στις πληροφορίες και αυτόν τον ρόλο μπορεί να παίξει μία γλώσσα οντολογιών για το Web. Τέτοια είναι η Web Ontology Language (*OWL*) και για την οποία πρέπει να σκεφτόμαστε ότι δημιουργήθηκε για να καλύψει και αυτή την ανάγκη μεταξύ άλλων. Η *OWL* έχει τις ρίζες της στην DAML+OIL Web Ontology Language (McGuinness & Van Harmelen, 2004).

Η *OWL* όπως είπαμε είναι μία γλώσσα για τον ορισμό και διαμοιρασμό οντολογιών στο Web. Ο όρος Οντολογία προέρχεται από την φιλοσοφία και αναφέρεται στην επιστήμη περιγραφής των διαφόρων ειδών οντοτήτων του κόσμου και στις μεταξύ τους σχέσεις. Αυτό ακριβώς υλοποιεί και μία *OWL* οντολογία. Πιο συγκεκριμένα, περιέχει περιγραφές κλάσεων, ιδιοτήτων και μεμονωμένων οντοτήτων αυτών των κλάσεων. Χάρη στη σημασιολογία που παρέχει σ' αυτές τις πληροφορίες η *OWL*, δίνεται η δυνατότητα σε συστήματα να εξάγουν επιπρόσθετη γνώση με λογικό τρόπο (Welty & McGuinness, 2004).

Υπάρχουν τρεις εκδόσεις αυτής της γλώσσας και αυτές είναι οι *OWL Lite*, *OWL DL* και *OWL Full*. Είναι στην ευχέρεια του χρήστη να επιλέξει βάσει των αναγκών του ποια έκδοση της *OWL* είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσει για το εκάστοτε project. Ας δούμε αναλυτικότερα μερικά πράγματα για τις τρεις αυτές εκδόσεις της *OWL*:

- ❖ ***OWL Lite***: Η απλούστερη έκδοση αυτή ενδείκνυται για απλές ταξινομικές ιεραρχίες και απλούς περιορισμούς πάνω σε αυτές.

- ❖ **OWL DL:** Υποστηρίζει τους χρήστες που επιθυμούν μέγιστη εκφραστικότητα χωρίς παράλληλα να χάνεται η δυνατότητα αυτόματων υπολογιστικών εργαλείων. Το όνομα της το παίρνει λόγω της στενής αντιστοιχίας της με την Description Logic.
- ❖ **OWL Full:** Προορίζεται για χρήστες που πρωτίστως τους ενδιαφέρει η απεριόριστη εκφραστικότητα και ελευθερία στο συντακτικό, που τους εξασφαλίζουν τα RDF, ανεξαρτήτου κόστους σε υπολογιστικά εργαλεία.

Κάθε μία από τις παραπάνω εκδόσεις αποτελεί επέκταση της προηγούμενης, ακριβώς με την σειρά που παρατέθηκαν παραπάνω. Αυτό σημαίνει ότι μια καλά διατυπωμένη οντολογία στην OWL Lite είναι καλά διατυπωμένη και στις OWL DL, OWL Full. Με την ίδια ακριβώς λογική κάθε συμπέρασμα που εξάγεται από μια οντολογία στην OWL Lite είναι επίσης ένα έγκυρο συμπέρασμα και στις OWL DL, OWL Full. Όμοια τα παραπάνω ισχύουν και για την OWL DL προς την OWL Full.

Το Semantic Web είναι εξ' ορισμού καταναμημένο και για αυτό τον λόγο η OWL επιτρέπει τη συγκέντρωση πληροφοριών από διάφορες πηγές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δυνατότητα συσχετισμού των οντολογιών, με την εισαγωγή μέρους ή ολόκληρων άλλων οντολογιών.

### ***Βασικά Στοιχεία των OWL Οντολογιών***

Τα βασικά στοιχεία μιας OWL οντολογίας είναι: classes (κλάσεις), properties (ιδιότητες), individuals (μεμονωμένες οντότητες των κλάσεων) και σχέσεις μεταξύ αυτών των οντοτήτων. Πολλές χρήσεις μιας οντολογίας βασίζονται στην ικανότητα να επιχειρηματολογεί σχετικά με τις οντότητες των κλάσεων. Για να πραγματοποιηθεί αυτό με ικανοποιητικό τρόπο χρειάζεται ένας μηχανισμός περιγραφής των κλάσεων στις οποίες ανήκουν οι οντότητες και των ιδιοτήτων που κληρονομούν από το γεγονός ότι ανήκουν σε αυτές.

Στην πράξη κάθε βασική έννοια του πεδίου προς μοντελοποίηση πρέπει να αντιστοιχεί σε κάποια κλάση της οντολογίας. Επιπλέον, σε μία OWL οντολογία κάθε μεμονωμένη οντότητα είναι μέλος της κλάσης owl:thing, της οποίας κάθε άλλη κλάση που ορίζεται είναι υποκλάση αυτής. Η κενή κλάση αναπαρίσταται στην OWL ως owl:Nothing. Το πιο απλό παράδειγμα κλάσης σε μία OWL οντολογία είναι αυτό μίας named class, δηλαδή μιας κλάσης την οποία ορίζουμε απλά δηλώνοντάς την. Ο ορισμός μιας κλάσης πραγματοποιείται δηλώνοντας ένα όνομα και μία λίστα από περιορισμούς που ικανοποιεί η κλάση αυτή. Στην πιο απλή περίπτωση μία κλάση που ορίζουμε ικανοποιεί έναν περιορισμό και αυτός είναι ότι αποτελεί υποκλάση μιας άλλης κλάσης. Οι περιορισμοί αυτοί στην πραγματικότητα περιορίζουν τις οντότητες που μπορούν να αποτελέσουν μέλη μίας κλάσης. Πιο συγκεκριμένα, μία οντότητα που ανήκει σε μία κλάση, σημαίνει ότι ανήκει στην τομή όλων των περιορισμών που ορίζουν αυτήν την κλάση.

Το δεύτερο βασικό στοιχείο των OWL οντολογιών είναι οι οντότητες. Τις οντότητες μπορούμε πολύ απλά να τις συλλάβουμε ως τα μέλη των κλάσεων τις οποίες αναλύσαμε παραπάνω. Ωστόσο, δεν πρέπει να συγχέουμε και να ταυτίζουμε το σύνολο των οντοτήτων με αυτό των μελών μιας κλάσης. Το σύνολο των μελών μιας κλάσης είναι ορισμένο με αφηρημένο τρόπο. Μία οντότητα ανήκει σε αυτό το σύνολο και λαμβάνει ένα όνομα για να την ξεχωρίζουμε. Ακόμα κι έτσι μπορεί να υπάρξει η περίπτωση στην οποία με δύο διαφορετικά ονόματα να αναφερόμαστε στην ίδια οντότητα. Με απλά λόγια μία οντότητα είναι ένα συγκεκριμένο παράδειγμα μέλους μιας κλάσης. Όπως και στις κλάσεις, ο ορισμός των οντοτήτων δεν γίνεται με έναν και μοναδικό τρόπο. Ο πιο απλός τύπος οντότητας είναι αυτή που ορίζεται απλά δηλώνοντας ότι ανήκει σε μία κλάση.

Ας δούμε τώρα μερικά πράγματα για τις ιδιότητες μίας OWL οντολογίας, που είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για τη γλώσσα. Μία μοντελοποίηση που θα περιέχει μόνο κλάσεις και οντότητες-μέλη αυτών των κλάσεων δεν θα ήταν αρκετά ενδιαφέρουσα και θα είχε λίγες εφαρμογές. Ουσιαστικά θα επρόκειτο για απλό ταξονομικό δέντρο. Οι ιδιότητες προσθέτουν μεγάλη εκφραστικότητα. Στην ουσία οι ιδιότητες είναι προτάσεις που ισχύουν για τα μέλη των κλάσεων. Οι προτάσεις αυτές διατυπώνονται ως σχέσεις δύο θέσεων που συνδέουν οντότητες μιας κλάσης με οντότητες μιας άλλης κλάσης. Υπάρχουν δύο ειδών ιδιότητες που μπορούν να διατυπωθούν στην OWL και είναι: datatype properties και object properties. Οι πρώτες αποτελούν σχέσεις μεταξύ μελών μιας κλάσης και τύπων δεδομένων όπως αυτά εννοούνται στα RDF και XML. Τα object properties αφορούν σχέσεις μεταξύ μελών δύο κλάσεων. Κατά τη διατύπωση μίας ιδιότητας ορίζονται το πεδίο ορισμού και το πεδίο τιμών της ιδιότητας. Εκτός από αυτό, όμως, μπορούν να ασκηθούν και άλλοι περιορισμοί κατά τον ορισμό μίας ιδιότητας. Μάλιστα, με τη βοήθεια περιορισμών σε ιδιότητες μπορούμε να εμπλουτίσουμε και τον ορισμό των κλάσεων ή ακόμη και να ορίσουμε μία κλάση. Ορίζοντας μία κλάση με αυτόν τον τρόπο λέμε ότι ορίζουμε μία unnamed class και οι κλάσεις αυτές ονομάζονται ανώνυμες κλάσεις. Πρόκειται για μία εναλλακτική στις named classes που είδαμε νωρίτερα. Τέλος, όπως οι κλάσεις έτσι κι οι ιδιότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε ιεραρχίες, ορίζοντας ουσιαστικά μία διάταξη σε αυτές.

Τέλος, ένα κομβικό σημείο της OWL είναι το open world assumption, που δεν είναι τίποτα άλλο παρά μία παραδοχή που γίνεται στο πλαίσιο των OWL οντολογιών. Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή, αν μία κλάση  $C_1$  είναι αρχικά ορισμένη σε μία οντολογία  $O_1$ , τότε αυτή μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες οντολογίες. Το θέμα είναι ότι κάθε νέα πληροφορία για την κλάση αυτή δεν μπορεί να σβήσει τις προηγούμενες παρ' όλο που μπορεί να είναι αντιφατική. Έτσι πληροφορίες μπορούν μόνο να προστεθούν και όχι να διαγραφούν.

## ***Εφαρμογές***

Οι οντολογίες OWL μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση εφαρμογών του Web καθώς και να δημιουργήσουν νέες χρήσεις του Web. Για να συλλάβουμε με ποιον τρόπο είναι χρήσιμες οι OWL οντολογίες θα αναφέρουμε μερικά συγκεκριμένα παραδείγματα που είναι ενδεικτικά (Heflin, 2004).

Μία χρησιμότητα των οντολογιών είναι στα λεγόμενα Web portals που είναι ιστοσελίδες με ενημερωτικό περιεχόμενο σχετικά με κάποιο πεδίο ενδιαφέροντος. Σε αυτές τις ιστοσελίδες οι επισκέπτες μπορούν εκτός απ' το να βρίσκουν χρήσιμο υλικό για κάποιο θέμα, να έρχονται σε επαφή με άτομα με κοινά ενδιαφέροντα και έτσι να συμμετέχουν σε μία κοινότητα. Η επιτυχία ενός τέτοιου site έγκειται στη συγκέντρωση έγκυρης πληροφορίας και οργάνωσης αυτής. Οι πληροφορίες –το περιεχόμενο- ανανεώνεται από τους ίδιους τους χρήστες και η οργάνωση αυτού επιτυγχάνεται προσθέτοντας ετικέτες σε αυτό. Σε μεγάλους όγκων πληροφοριών, ωστόσο, οι μεταπληροφορίες αυτές –ετικέτες- δεν επαρκούν για αποτελεσματικές αναζητήσεις από τους χρήστες. Μία καλύτερη προσέγγιση θα ήταν να σχεδιαστεί μία οντολογία για την ιστοσελίδα που θα λύνει τα χέρια των χρηστών. Πέραν των ορισμών, μία οντολογία μπορεί να περιέχει αξιώματα και επομένως να προσφέρει σαφώς μεγαλύτερη εκφραστικότητα στις μεταπληροφορίες που θέλουμε να δημιουργήσουμε για τη βάση γνώσεων, δηλαδή το Web portal.

Η δημιουργία μιας οντολογίας είναι πολύ χρήσιμη και στις περιπτώσεις multimedia συλλογών. Τέτοιες είναι συλλογές από εικόνες, ήχο και άλλο περιεχόμενο πλην κειμένου. Το να προσδώσουμε σημασιολογία σε τέτοιο περιεχόμενο είναι μια διαδικασία ακόμα δυσκολότερη απ' ότι σε ένα περιεχόμενο κειμένου. Οι οντολογίες έχουν τη δυνατότητα χειρισμού τέτοιων multimedia συλλογών. Μάλιστα με τη χρήση οντολογιών μας δίνεται η δυνατότητα να αναφερόμαστε στο περιεχόμενο με μεγαλύτερη ευκολία και να το ταξινομούμε για ευκολότερη προσπέλαση από άλλους χρήστες.

Οι μεγάλες εταιρείες συνηθίζουν να διαχειρίζονται ένα μεγάλο αριθμό από ιστοσελίδες που αφορούν αναφορές του τύπου, προσφορές για τα προϊόντα τους, μελέτες, εταιρικές διαδικασίες, περιγραφές και συγκρίσεις προϊόντων κ.ά. Ο μεγάλος αυτός όγκος ιστοσελίδων, δηλαδή πληροφοριών, μπορεί να οργανωθεί με τη βοήθεια ενός δικτύου οντολογιών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μία οντολογία δεν θα επαρκούσε, ούτε θα έλυne τα προβλήματα που δημιουργούνται από μία τόσο περίπλοκη και ογκώδη βάση δεδομένων. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης οντολογιών είναι ότι σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχουν ανάγκες επικοινωνίας ανθρώπων που δεν μοιράζονται τις ίδιες γνώσεις και συστημάτων που απαιτούν την εισαγωγή πληροφοριών σε διάφορες τυποποιήσεις. Το γεγονός αυτό φωτογραφίζει τη χρήση οντολογιών, για λόγους που έχουμε εξηγήσει και σε προηγούμενες παραγράφους.

Σε συστήματα σχεδιασμού απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός από επιμέρους συστήματα, όπως για παράδειγμα στην βιομηχανία αεροδιαστημικής. Σε αυτήν την περίπτωση χρειάζονται συστήματα που αφορούν το σχεδιασμό, άλλα για τη διαδικασία παραγωγής και άλλα για τον έλεγχο ποιότητας των παραχθέντων. Κάθε ένα από αυτά τα συστήματα δύναται να ιεραρχηθεί εσωτερικά. Ωστόσο, λόγω της απαιτούμενης επικοινωνίας μεταξύ αυτών των συστημάτων απαιτείται ένας ολιστικός σχεδιασμός ταξινόμησης όλων αυτών. Ξανά η χρήση ενός δικτύου οντολογιών μοιάζει επιτακτική.

## **DOL**

Αν και η OWL αποτελεί μία πολύ δημοφιλή γλώσσα για τη δημιουργία οντολογιών, ο περιορισμός σε μία τέτοια γλώσσα θέτει δυσκολίες σε κάποιον σχεδιαστή οντολογιών όσον αφορά την έκφραση γνώσης που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία τέτοια γλώσσα περιγραφικής λογικής (description logic). Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτού του θέματος είναι ο εμπλουτισμός μιας OWL-οντολογίας με αξιώματα γραμμένα σε πρωτοβάθμια λογική.

Πέρα από την OWL, γίνεται χρήση μιας πληθώρας γλωσσών για την μοντελοποίηση οντολογιών. Κάποιες από αυτές, όπως οι RDF, OBO, UML διαγράμματα κλάσεων, μπορούν να θεωρηθούν ως διάλεκτοι της OWL ή ακριβέστερα, στενές παραλλαγές αυτής. Από την άλλη πλευρά, γλώσσες όπως οι Common Logic (CL) και F-Logic έχουν σαφώς μεγαλύτερη εκφραστικότητα από την OWL. Οι Lange et al (2012) προτείνουν την αποδοχή αυτού του πλουραλισμού γλωσσών, προτείνοντας μέτρα για τη σύγκριση και ενσωμάτωση οντολογιών διαφορετικών γλωσσών. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν:

*«κανένας φορμαλισμός δεν θα αποτελέσει μια γλώσσα Esperanto<sup>3</sup> που θα χρησιμοποιείται από όλους».*

Στην σκοπιά αυτή αναπτύχθηκε η γλώσσα Distributed Ontology, Modeling and Specification Language (DOL). Η γλώσσα αυτή έχει σκοπό να επιτρέπει στους χρήστες τη χρήση της προτιμώμενης από αυτούς τυποποίησης οντολογιών και παράλληλα να μην βλάπτει τη διαλειτουργικότητα. Πιο απλά, αποτελεί μια γέφυρα μεταξύ των περισσότερων και πιο γνωστών γλωσσών που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη οντολογιών. Στο επίκεντρο αυτής της προσπάθειας βρίσκεται ένας χάρτης μεταφράσεων μεταξύ των γλωσσών αυτών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται τα εξής:

---

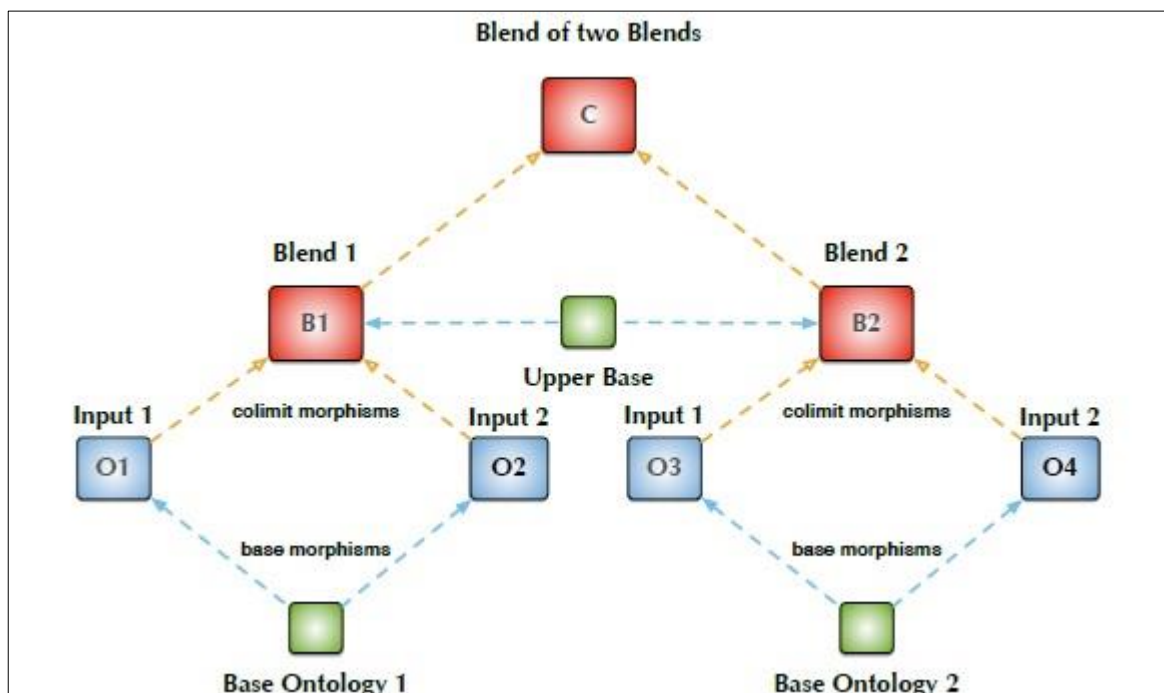
<sup>3</sup> Η Esperanto είναι η πιο ευρέως ομιλούμενη τεχνητή γλώσσα στον κόσμο, που οφείλει το όνομά της στο ψευδώνυμο Doktoro Esperanto του γιατρού και γλωσσολόγου L. L. Zamenhof. Ο ίδιος εξέδωσε το πρώτο βιβλίο σχετικά με αυτήν τη γλώσσα στις 26 Ιουλίου 1887.

1. Συσχετίζονται οντολογίες γραμμένες με διαφορετικούς φορμαλισμούς.
2. Επαναχρησιμοποιούνται modules (ενότητες, κομμάτια) οντολογιών ακόμα και αν έχουν αναπτυχθεί με διαφορετική μέθοδο τυποποίησης.
3. Επαναχρησιμοποιούνται εργαλεία όπως theorem provers, αξιοποιώντας μεταφράσεις μεταξύ φορμαλισμών.

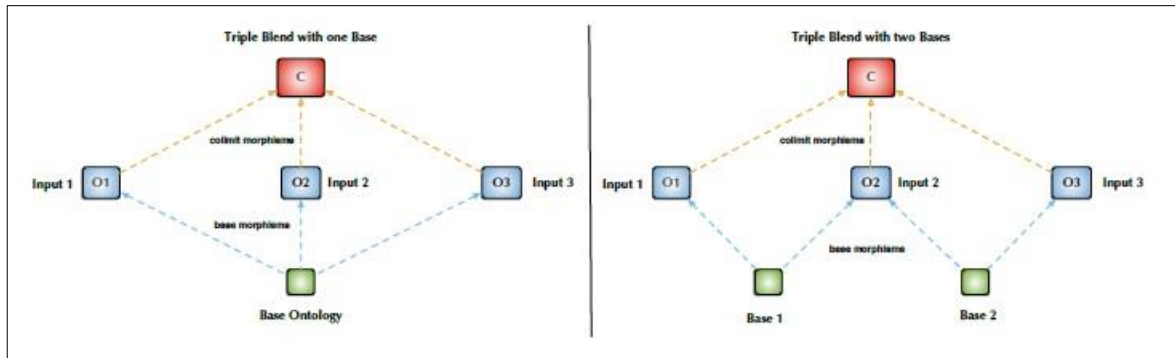
### Χρησιμότητα στις Διαδικασίες Μίξης

Η χρησιμότητα της επεκτείνεται και στις διαδικασίες μίξης. Η DOL είναι μία τυπική γλώσσα που επιτρέπει την ενσωμάτωση και επεξεργασία των οντολογιών-εισόδων, του διαγράμματος βάσης και της μίξης αυτών. Επομένως, με την DOL μπορούμε να υλοποιήσουμε τις διαδικασίες οντολογικής μίξης. Ουσιαστικά πρόκειται για μία μετα-γλώσσα που επιτρέπει τη χρήση οντολογιών γραμμένων σε διάφορες γλώσσες, όπως η OWL και η Common Logic, ως πρώτες ύλες για την κατασκευή νέων οντολογιών. Μία ξεχωριστή καινοτομία της DOL είναι ότι επιτρέπει τον προσδιορισμό της οντολογίας-βάσης ως μία θεωρία της DOL, από την οποία μετέπειτα μπορεί να υπολογιστεί το colimit και άλλες μίξεις.

Έχουμε αναφερθεί επανειλημμένως μέχρι τώρα στο απλούστερο παράδειγμα μίξης. Ωστόσο, μεγαλύτερης αξίας είναι οι συνθετότερες καταστάσεις επαναλαμβανόμενων μίξεων. Η μοντελοποίηση τέτοιων επαναλαμβανόμενων διαδικασιών αποτελεί πρόκληση, εννοιολογικά και σε τεχνικό επίπεδο. Η επανάληψη, όμως δεν είναι η μόνη παραλλαγή διαδικασίας μίξης. Άλλο παράδειγμα μπορεί να είναι η ύπαρξη τριών χώρων-εισόδων (οντολογιών) που να συμμορφώνονται σε μία κοινή βάση, ή σε δύο αντίστοιχες βάσεις ανά ζευγάρι.



Εικόνα 9: Παράδειγμα σύνθετης μίξης.



Εικόνα 10: Μίξεις τριών οντολογιών εισόδων.

Ακόμα, με τη χρήση των IRIs ως παγκόσμια μοναδικό αναγνωριστικό οι οντολογίες είναι δυνατό να καταναμηθούν μέσω του Web. Τα οφέλη από κάτι τέτοιο είναι τεράστια, αλλά αρκεί να το συλλάβουμε ως ένα βήμα προς την υλοποίηση του Semantic Web.

Η DOL στοχεύει να καλύψει όλες τις κορυφαίες βασικές γλώσσες οντολογιών και να παρέχει ένα meta level σε αυτές. Το meta level αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκρότηση οντολογιών αποτελούμενων από ενότητες γραμμένες σε διαφορετικές γλώσσες. Περισσότερα για τη χρήση του meta level θα δούμε παρακάτω.

Μερικές από τις γλώσσες που είναι συμβατές για χρήση με την DOL είναι η Προτασιακή Λογική, η OWL, ο Πρωτοβάθμιος Λογισμός με ισότητα και η Common Logic. Από όλες αυτές η Common Logic είναι εκείνη με την μεγαλύτερη εκφραστικότητα και γι' αυτό το λόγο αποτελεί μία γλώσσα-στόχο. Θα ήταν θεμιτό δηλαδή όλες οι υπόλοιπες να μεταφράζονται σε αυτήν. Ωστόσο, η DOL δεν κάνει κάτι τέτοιο αυτόματα παρά μόνο ύστερα από εντολή. Με αυτόν τον τρόπο εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα κάθε γλώσσας χωριστά καθώς και τα εργαλεία τους.

Το meta level που αναφέραμε νωρίτερα καθορίζεται από δύο στοιχεία της DOL και αυτά είναι το συντακτικό και η σημασιολογία. Παρακάτω θα δούμε αναλυτικότερα μερικά στοιχεία για το καθένα χωριστά.

### Συντακτικό

Μία καταναμημένη οντολογία αποτελείται από τουλάχιστον μία (πιθανά ετερογενή) οντολογία συν –προαιρετικά– διερμηνείες μεταξύ των οντολογιών που την αποτελούν. Πιο συγκεκριμένα, μια καταναμημένη οντολογία αποτελείται από ένα όνομα, που ακολουθείται από μία λίστα από LOGIC-SECTIONS. Σε κάθε LOGIC-SECTION επιλέγεται μία συγκεκριμένη γλώσσα οντολογιών (λογική γλώσσα) που χρησιμοποιείται για την ερμηνεία του ακόλουθου DIST-ONTO-ITEM, δηλαδή είτε ενός ορισμού οντολογίας, ή μιας διερμηνείας οντολογιών.

Γενικά, μια οντολογία  $O$  μπορεί να είναι μεταξύ άλλων περιπτώσεων που δεν θα μας απασχολήσουν, κάτι από τα ακόλουθα:

1. Μία βασική οντολογία  $\langle \Sigma, \Delta \rangle$  γραμμένη σε κάποια γλώσσα οντολογιών. Για απλότητα υποθέτουμε ότι αυτή δίνεται άμεσα από την υπογραφή  $\Sigma$  και από ένα σύνολο αξιωμάτων  $\Delta$ , ωστόσο στην πραγματικότητα μια βασική οντολογία είναι γραμμένη με κάποιο συγκεκριμένο συντακτικό από το οποίο μπορούμε να εξάγουμε την υπογραφή και το σύνολο των αξιωμάτων.
2. Μια μετάφραση «Όμε λογική  $\rho$ » μιας οντολογίας Ό με μία μετάφραση γλώσσας οντολογιών  $\rho$ .
3. Μία επέκταση μίας οντολογίας Ό από μία άλλη βασική οντολογία  $\langle \Sigma, \Delta \rangle$ .
4. Μία αναφορά μιας υπάρχουσας οντολογίας στο Web.

Με τη βοήθεια του ορισμού οντολογίας που αναφέραμε παραπάνω ονοματίζουμε μία οντολογία. Έχουμε την επιλογή να επισημάνουμε την συνέπεια της οντολογίας χρησιμοποιώντας το συμβολισμό CS. Μία μετάφραση γλωσσών οντολογιών  $\rho$  καλείται είτε με το όνομα της, είτε υπονοείται ως προκαθορισμένη μετάφραση μεταξύ δύο δεδομένων γλωσσών οντολογιών. Ένας σύνδεσμος παρέχει μία σύνδεση μεταξύ δύο οντολογιών και όπως προείπαμε αυτό υλοποιείται με τη χρήση των IRIs (Internationalised Resource Identifiers).

### **Σημασιολογία**

Οι Mossakowski et al (2013) ακολουθούν μια τριπλή θεώρηση της σημασιολογίας που αποδίδεται σε ένα συντακτικό. Πιο αναλυτικά:

- ❖ **Direct Set-Theoretical Semantics:** Αυτή η σημασιολογία κάνει χρήση των υπάρχουσών σημασιολογιών των λογικών γλωσσών που χρησιμοποιούνται και των μεταφράσεων μεταξύ αυτών. Η σημασιολογία του meta level γράφεται σε μια σχεδόν τυπική μαθηματική μορφή. Πρόκειται για μία επέκταση μίας σημασιολογίας θεωρίας θεσμών και θεωρίας κατηγοριών που κάνει χρήση εννοιών όπως τα co-limits για το συνδυασμό οντολογιών.
- ❖ **Translational Semantics:** Χρησιμοποιείται η σημασιολογία της Common Logic, αξιοποιώντας το γεγονός ότι αυτή αποτελεί μία κοινή μετάφραση όλων των βασικών γλωσσών. Η μετάφραση γίνεται σε μία meta Common Logic. Η σημασιολογία αυτή αναπαριστάται επίσης σε μία σχεδόν τυπική μορφή.
- ❖ **Collapsed Semantics:** Επεκτείνει την προηγούμενη μορφή σε μία σημασιολογία πλήρως διατυπωμένη στην Common Logic μεταφράζοντας την meta Common Logic σε Common Logic.



## ***Το Γράφημα των Λογικών της DOL***

Μπορούμε να ορίσουμε ένα γράφημα λογικών γλωσσών και των μεταξύ τους μεταφράσεων όπως αυτές χρησιμοποιούνται από την DOL. Κάθε λογική γλώσσα εμπεριέχει τις έννοιες πρόταση και μοντέλο, καθώς και μία σχέση  $\models$  ικανοποίησης μεταξύ αυτών. Η σχέση  $\models$  επεκτείνεται και σε σύνολα μοντέλων και προτάσεων. Παράλληλα, απαραίτητη είναι και η έννοια της υπογραφής (λεξιλόγιο). Οι υπογραφές των διαφόρων γλωσσών είναι μερικά διατεταγμένες. Μάλιστα, αν  $\Sigma_1 \leq \Sigma_2$  τότε συμπεραίνουμε ότι κάθε  $\Sigma_1$ -πρόταση είναι και  $\Sigma_2$ -πρόταση. Έστω τώρα ένα μοντέλο  $M_2$  της  $\Sigma_2$ . Το  $M_2$  έχει έναν περιορισμό στη  $\Sigma_1$  που τον συμβολίζουμε με  $M_2|_{\Sigma_1}$  και τότε το  $M_2$  καλείται επέκταση του  $M_2|_{\Sigma_1}$ . Για κάθε λογική είναι εύκολο να δείχτεί ότι  $M_2 \models \varphi$  αν και μόνο αν  $M_2|_{\Sigma_1} \models \varphi$ . Πιο απλά, η σχέση  $\models$  είναι ανεξάρτητη του περιορισμού.

Μένει να ορίσουμε τις μεταφράσεις μεταξύ των λογικών. Αυτές είναι τριάδες  $\langle \Phi, \alpha, \beta \rangle$  όπου  $\Phi$  είναι μία μετάφραση υπογραφών,  $\alpha$  είναι μία μετάφραση προτάσεων και  $\beta$  είναι μία μετάφραση μοντέλων. Για κάθε τριάδα  $\langle \Phi, \alpha, \beta \rangle$  ισχύει η εξής συνθήκη:  $\beta(M) \models \varphi$  αν και μόνο αν  $M \models \alpha(\varphi)$ , όπου  $\varphi$  είναι μία πρόταση στην πηγή της μετάφρασης και  $M$  ένα μοντέλο στον στόχο της μετάφρασης.

Υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια συμβατότητας για κάποια γλώσσα οντολογίας (ή κάποιου module γενικότερα) ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της DOL (Mossakowski, Lange, & Kutz, 2013). Αυτά είναι:

1. Μία βασική γλώσσα οντολογίας είναι συμβατή για χρήση με την DOL αν η λογική γλώσσα στην οποία στηρίζεται μπορεί να αναλυθεί με μία σημασιολογία συνολοθεωρητική ή θεωρίας θεσμών.
2. Ένα συντακτικό μίας βασικής γλώσσας οντολογίας είναι συμβατό εάν υποστηρίζει ονοματολογία με IRIs.
3. Ένα έγγραφο είναι συμβατό εάν είναι καλά διαμορφωμένο σύμφωνα με κάποιο συμβατό συντακτικό.
4. Τέλος, μία εφαρμογή είναι συμβατή εάν έχει τη δυνατότητα να τρέχει συμβατά έγγραφα.

## ***Εφαρμογές***

Μερικές από τις πολλές εφαρμογές της DOL είναι άξιες αναφοράς. Μία από αυτές είναι και το Ontohub που είδαμε αναλυτικά και νωρίτερα. Αυτό που δεν τονίσαμε είναι ότι η λειτουργία του στηρίζεται κατεξοχήν στην DOL. Στο Ontohub ένα χρήστης μπορεί να διαμοιράσει μία οντολογία, καθώς και να αναζητήσει και να επεξεργαστεί βασικές οντολογίες γραμμένες σε διάφορες γλώσσες. Το Ontohub ουσιαστικά με τη βοήθεια της DOL και ενός εργαλείου που λέγεται Hets (Heterogeneous Tool Set) παρέχει περιγραφές της δομής των οντολογιών. Πιο συγκεκριμένα, μία

βασική οντολογία αποτελείται από προτάσεις (sentences), οντότητες (entities) και αν το επιτρέπει η γλώσσα στην οποία τυποποιείται περιέχει κάποιες άλλες εισαγόμενες οντολογίες. Η δομική περιγραφή των οντολογιών είναι αποθηκευμένη στο Ontohub και παρουσιάζεται στον χρήστη μέσω μιας διεπαφής δικτύου (ιστοσελίδας) και σε συστήματα ως δεδομένα RDF. Οι καταναεμημένες οντολογίες αντιμετωπίζονται επίσης σαν βασικές οντολογίες, όπου ως οντότητες έχουν βασικές οντολογίες (ή ακόμα πιο σύνθετα, άλλες καταναεμημένες οντολογίες) και ως προτάσεις έχουν κάποιους συνδέσμους.

Μία άλλη εφαρμογή είναι το Common Logic Repository (COLORE) που περιέχει πάνω από 500 οντολογίες τυποποιημένες σε Common Logic. Σκοπός του COLORE είναι να παρέχει ένα ικανοποιητικό σύνολο από βασικές οντολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της σημασιολογίας θεμελιακών εννοιών. Τέτοιες έννοιες μπορεί να προέρχονται από τη γεωμετρία ή την τοπολογία, ενώ μία άλλη πολύ σημαντική είναι αυτή του χρόνου και οι οποίες χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις. Έτσι το COLORE τυποποιεί αλγεβρικές δομές, σχέσεις διάταξης, γραφήματα κ.ά. αποθηκεύοντας δεδομένα τέτοιων οντολογιών σε XML schema αρχεία.

Το σχέδιο για την DOL δεν περιορίζεται σε ένα πεπερασμένο σύνολο γλωσσών οντολογιών. Είναι πιθανό στο μέλλον οποιαδήποτε γλώσσα οντολογίας, λογική γλώσσα, συντακτικό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της DOL αν καθοριστεί η συμβατότητα τους με τα κριτήρια που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Αυτό ίσως είναι και το σπουδαιότερο στοιχείο αυτού του εγχειρήματος.

# Τυποποίηση της Εννοιολογικής Μίξης

## Εισαγωγή

Αντιλαμβανόμαστε πως η EM είναι μεγάλης χρησιμότητας όσον αφορά την εφεύρεση εννοιών (concept invention), αντίστοιχης αξίας όπως οι αναλογίες, οι παρομοιώσεις, οι μεταφορές και άλλες σχετικές διαδικασίες. Σε κάθε μία από αυτές τις τεχνικές, απαραίτητη για το συνδυασμό και την εφεύρεση εννοιών είναι η ενσωμάτωση, άλλοτε λιγότερο και άλλοτε περισσότερο, δομικών χαρακτηριστικών. Στην περίπτωση της EM αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των εννοιολογικών χώρων.

Το κέρδος από την ενσωμάτωση της θεωρίας της EM σε αυτήν των Οντολογιών είναι αμοιβαίο. Οι οντολογίες θα αποκτήσουν μία μέθοδο δημιουργίας οντολογιών από τη μίξη οντολογιών-εισόδων, ενώ η EM θα αποκτήσει ένα υπολογιστικό εργαλείο.

Υπάρχει μία πληθώρα παραδειγμάτων EM, αναλογιών και μεταφορών σε πεδία όπως η διαφήμιση, οι τέχνες (κινηματογράφος κλπ) ή ακόμα στον καθημερινό μας λόγο που αποτελεί πρόκληση η μοντελοποίηση αυτών. Βρισκόμαστε ακόμα στην αρχή της εξερεύνησης των πιθανών δυνατοτήτων μιας τέτοιας μοντελοποίησης και ο τρόπος που αυτή πρέπει να γίνει δεν είναι ακόμη ξεκάθαρος. Δύο πολύ σημαντικά θέματα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι ο τρόπος με τον οποίο θα «τρέχει» μία τυποποιημένη EM, καθώς και το γεγονός ότι αυτή θα πρέπει να έχει μία δική της αναδυόμενη λογική που θα παράγει αυθεντικά αποτελέσματα. Άλλωστε, αυτό από μόνο του αποτελεί άλλο ένα κίνητρο προς την κατεύθυνση της μοντελοποίησης των διαδικασιών αυτών.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει μία EM μπορεί να εκληφθεί ως ένα πλέγμα μορφισμών σημειωτικών συστημάτων. Ο Goguen έχει καθιερώσει τη μελέτη αυτών υπό τη σκοπιά της αλγεβρικής σημειωτικής, όπου ένα σημειωτικό σύστημα είναι μία λογική θεωρία εμπλουτισμένη με δομικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, οι Goguen και Harrell δεν υποστήριξαν ότι με την αλγεβρική σημειωτική μπορούν να τυποποιηθούν πλήρως οι διαδικασίες μιας EM και πιο συγκεκριμένα οι αρχές βέλτιστης μίξης που αναφέραμε στο πρώτο κεφάλαιο. Έτσι ξεκίνησαν την έρευνα με τη χρήση μιας γλώσσας αλγεβρικών προδιαγραφών, την OBJ3 (Goguen, Malcolm 1996). Πιο πρόσφατα, η γλώσσα αυτή αντικαταστάθηκε από τη χρήση οντολογιών γραμμένων σε γλώσσες όπως η Web Ontology Language (OWL) ή ακόμα και την πρωτοβάθμια λογική, από τους Kutz, Mossakowski και άλλους. Ωστόσο, αυτές δεν παρέχουν τις απαραίτητες δομικές σχέσεις και αυτό το κενό τελικά μπορεί να καλυφθεί από την Distributed Ontology Language (DOL).

## Η Εννοιολογική Μίξη ως Οντολογία

Οι σχέσεις μεταξύ εννοιολογικών χώρων (ή σημειωτικών συστημάτων) μπορούν να εκληφθούν ως μορφισμοί. Αντίστοιχα, ο χώρος μίξης μπορεί να εκληφθεί ως ένα colimit. Πιο συγκεκριμένα, το αποτέλεσμα μίξης δύο χώρων συχνά αποτελεί ένα pushout. Παρακάτω, παραθέτουμε κάποιους χρήσιμους ορισμούς-περιγραφές εννοιών που συναντάμε στις διαδικασίες τυποποίησης EM.

### ❖ Signatures

Τα μη-λογικά σύμβολα συγκεντρώνονται στα λεγόμενα signatures, δηλαδή τα σύνολα των συμβόλων που χρησιμοποιούνται (πχ για ονόματα χώρων, σχέσεων κλπ).

### ❖ Signature morphisms

Μορφισμοί μεταξύ συμβόλων, που διατηρούν τους τύπους των συμβόλων (δηλαδή αντιστοιχίες από όνομα χώρου σε όνομα χώρου, από όνομα σχέσης σε όνομα σχέσης κλπ).

### ❖ Theory or Ontology

Αντιστοιχεί ένα signature με ένα σύνολο προτάσεων σ' αυτό το signature.

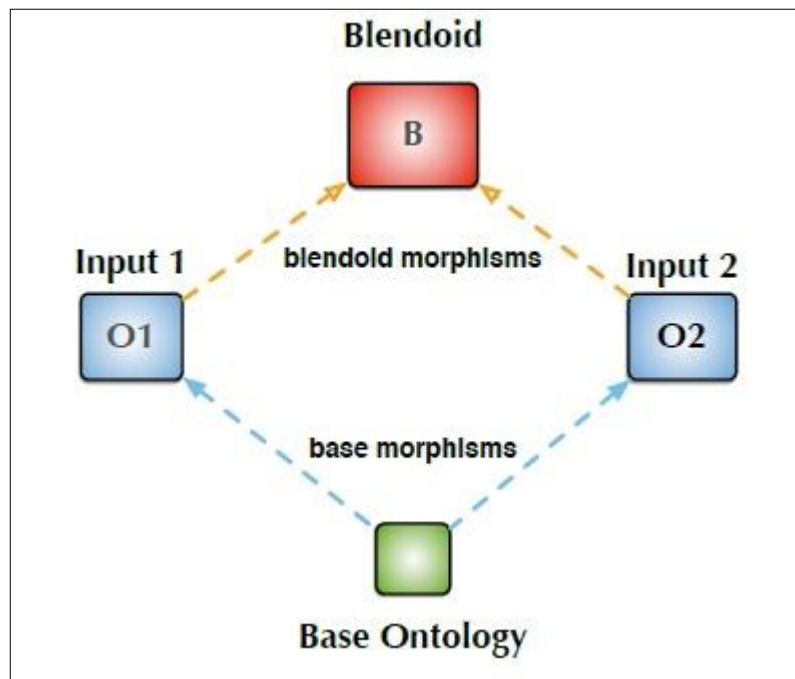
### ❖ Theory morphism (ή Interpretation)

Είναι ένας signature morphism μεταξύ των υποκείμενων signatures που διατηρεί τη λογική συνέπεια. Δηλαδή ένας  $r: T_1 \rightarrow T_2$  είναι theory morphism αν  $T_2 \models r(T_1)$ .

Μπορούμε να περιγράψουμε τώρα μία *οντολογική μίξη* (*ontological blending*) ως εξής: η μίξη των οντολογιών-εισόδων πρέπει να διατηρεί μερικώς τη κοινή δομή που υπαγορεύεται από την οντολογία-βάση. Κάτι που συμφωνεί θεωρητικά απόλυτα με την EM όπως την είχαμε περιγράψει νωρίτερα.

Οι κόμβοι στο διάγραμμα αντιπροσωπεύουν οντολογίες. Συμβολίζουμε με  $|D|$  το σύνολο των κόμβων του διαγράμματος  $D$ . Οι ακμές (βέλη) του διαγράμματος αποτελούν μορφισμούς θεωριών.

**Ορισμός:** Ένα *οντολογικό διάγραμμα βάσης* (*ontological base diagram*) είναι ένα διάγραμμα  $D$  για το οποίο ένα σύνολο κόμβων  $\mathcal{B} = \{B_i \mid i \in I\} \subset |D|$  καλείται *οντολογίες-βάσης* (*base ontology*), ένα δεύτερο σύνολο κόμβων  $I = \{I_j \mid j \in J\} \subset |D|$  καλείται *οντολογίες-είσοδοι* και οι μορφισμοί θεωριών  $\mu_{ij} : B_i \rightarrow I_j$  από οντολογίες-βάσης σε οντολογίες-είσοδους καλούνται *μορφισμοί-βάσης* (*μορφισμοί βάσης*). Αν υπάρχουν ακριβώς δύο είσοδοι  $I_1, I_2$  και ακριβώς μία βάση  $B \in \mathcal{B}$  και δύο μορφισμοί θεωριών  $\mu_k : B \rightarrow I_k, k = 1, 2$ , τότε το διάγραμμα  $D$  καλείται *κλασσικό* και έχει το σχήμα 'V'. Σε αυτήν την περίπτωση το  $B$  καλείται *tertium comparationis*.



Εικόνα 11: Οντολογικό διάγραμμα βάσης.

■

## Κατασκευάζοντας την Οντολογία-Βάσης

Πολύ σημαντικό θέμα ώστε να καταστεί η διαδικασία της EM αυτοματοποιημένη και υπολογιστικά εφικτή είναι να ξεχωρίσουμε τις υποψήφιες οντολογίες-βάσης. Αν στηριχτούμε στην καθαρά στατιστική σκοπιά του θέματος θα καταλήξουμε σε πολύ επιφανειακές ομοιότητες μεταξύ των οντολογιών-είσοδων. Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι οι πιο ουσιαστικές σχέσεις μεταξύ των χώρων αυτών. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι που μπορεί να επιτευχθεί αυτό:

### 1. Ontology intersection (τομή οντολογιών):

Το 2009 ο Norman μελέτησε την αυτοματοποίηση της διερμηνείας θεωριών σε τυποποιημένα μαθηματικά. Οι Kutz και Norman (2009) εφήρμοσαν αυτές τις ιδέες στις οντολογίες για τον εντοπισμό της κοινής τους δομής. Υπολογίζοντας τις κοινές διερμηνείες θεωριών μεταξύ των

οντολογιών-εισόδων μπορεί να υπολογιστεί μια οντολογία-βάση που να περιέχει τους αντίστοιχους μορφισμούς θεωριών. Αυτό είναι πολύ δύσκολο όταν μία οντολογία-είσοδος είναι πολύ απλή ενώ η δεύτερη αρκετά πιο περίπλοκη, καθώς τότε δεν επιτυγχάνονται πολλοί περιορισμοί (οι λίγες διερμηνείες της πρώτης θα έχουν πολλές όμοιές τους στη δεύτερη). Σε αυτή την περίπτωση προτιμώνται οι επόμενες μέθοδοι.

## 2. Αντιστοίχιση οντολογιών βασισμένη στη δομή τους:

Συνήθως μία τέτοια προσέγγιση συντελεί σε απλές αντιστοιχίες μεταξύ οντοτήτων των δύο οντολογιών-εισόδων. Όμως, οι έρευνες των Ritze et al. (2009) και Walshe (2012) επικεντρώνονται στον ορισμό πιο σύνθετων μηχανισμών αντιστοίχισης, όπου για παράδειγμα μπορεί να αντιστοιχηθεί μία έννοια `PositiveReviewedPaper` μιας οντολογίας  $O_1$  σε μία σχέση `HasEvaluation.Positive` μιας οντολογίας  $O_2$ .

## 3. Analogical reasoning (αναλογική επιχειρηματολογία):

Η heuristic-driven theory projection είναι μία τεχνική του analogical reasoning που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό μιας κοινής γενίκευσης θεωριών-εισόδων. Οι Schwering et al. (2009) ορίζουν μία σχέση αναλογίας μεταξύ μιας θεωρίας-εισόδου και μίας θεωρίας-στόχου (σε πρωτοβάθμια λογική αμφότερες) υπολογίζοντας μία κοινή γενίκευση των δύο. Ένα τυπικό παράδειγμα αποτελεί η γενίκευση της κοινής δομής του ατομικού μοντέλου του Rutherford και του μοντέλου του ηλιακού συστήματος.

## Επιλέγοντας την Μίξη

Έχοντας στα χέρια μας την οντολογία-βάσης οι επιλογές για τη μίξη είναι ακόμη πολλές, γι' αυτό και πρέπει να εφαρμοστούν επιπλέον αρχές για την επιλογή της. Αν οποιοσδήποτε συνδυασμός αξιωμάτων από τις οντολογίες-εισόδους μπορεί να κληρονομηθεί στην οντολογία-μίξης, τότε τα πιθανά αποτελέσματα ακόμη και σε απλές περιπτώσεις μίξης μπορεί να ανέλθουν σε χιλιάδες.

Στην EM το εργαλείο για τον περιορισμό των υποψήφιων αποτελεσμάτων είναι οι αρχές βέλτιστης μίξης που έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ωστόσο, αυτές αποτελούν μια θεωρητική διατύπωση που ελάχιστα μπορεί να υλοποιηθεί προγραμματιστικά/υπολογιστικά καθώς προκύπτουν δυσκολίες ως προς τα μαθηματικά εργαλεία που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση έχουν πραγματοποιηθεί για παράδειγμα από τους Pereira και Cardoso (2003), που πρότειναν την ενσωμάτωση των αρχών των Fauconnier και Turner (1998) με τη χρήση ποσοτικών μετρικών. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να υλοποιηθεί σε γλώσσες όπως η OWL ή η πρωτοβάθμια λογική. Έτσι η χρησιμότητα των αρχών αυτών περιορίζεται στο να δίνουν κάποια γενική κατεύθυνση επιλογής. Στη θέση τους χρησιμοποιούνται δύο είδη αρχών για

οντολογική μίξη, οι δομικές/λογικές αρχές και οι αρχές εύρεσης. Παρακάτω δίνουμε μια σύντομη περιγραφή για τα δύο αυτά είδη αρχών.

### 1. Δομικές/λογικές αρχές:

Τέτοιες μπορεί να είναι ο βαθμός αντιμεταθετικότητας του διαγράμματος, η διατήρηση των κατηγοριών/τύπων, ο βαθμός διατήρησης των αξιωμάτων κ.ά.

### 2. Αρχές εύρεσης:

Για παράδειγμα η εισαγωγή βαθμών προτίμησης στους μορφισμούς (που να αντανακλούν την «ποιότητα» τους). Οι Guarino και Welty (2002) παρουσίασαν μία τέτοια μεθοδολογία που ονομάζεται OntoClean.

## **Ontohub**

Το Ontohub είναι μία «αποθήκη» διαχείρισης ετερογενών οντολογιών, γραμμένων σε διάφορες γλώσσες, όπως η OWL και η DOL. Η ραχοκοκαλιά του συστήματος αυτού είναι το Heterogeneous Tool Set (HETS), που χρησιμοποιείται για την ανάλυση και διαχείριση των οντολογιών.

Με το HETS μπορούν να υπολογιστούν αυτόματα colimits διαγραμμάτων της OWL και της πρωτοβάθμιας λογικής, καθώς ακόμα και προσεγγίσεις σε περιπτώσεις όπου οι οντολογίες-είσοδοι είναι γραμμένες σε διαφορετικές γλώσσες. Ο υπολογισμός βασίζεται σε έναν γενικό αλγόριθμο υπολογισμού colimit διαγραμμάτων συνόλων και συναρτήσεων.

Μια δυσκολία στην παραγωγή μιας μίξης είναι ότι πρέπει να γίνονται επιλογές αντιπροσώπων, δηλαδή των ονομάτων των κατηγοριών και σχέσεων στο colimit. Το HETS αυτόματα επιλέγει τα σύμβολα (ονόματα) εκείνα που εμφανίζονται πιο συχνά στις οντολογίες-είσοδους, παρ' όλα αυτά υπάρχει η δυνατότητα μετέπειτα επεξεργασίας.

Για να ξεσκεπάρουμε τις υποψήφιες μίξεις κατά τη διαδικασία μιας οντολογικής μίξης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιες αρχές βελτιστοποίησης και ειδικότερα δομικές αρχές. Ακόμα κι έτσι αυτό που θα καταφέρουμε είναι να περιορίσουμε τις επιλογές μας σε έναν μικρό αριθμό, αλλά όχι να καταλήξουμε σε μια τελική επιλογή. Με απλά λόγια οι αρχές αυτές μπορούν να μας απαντήσουν στο ερώτημα «ποιες είναι οι μίξεις που ικανοποιούν το τάδε χαρακτηριστικό;». Το ερώτημα που δεν μπορούν να απαντήσουν είναι αν το αποτέλεσμα είναι μία επιτυχής μίξη. Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνουν κάποιες τεχνικές αξιολόγησης οντολογιών.

Να τονίσουμε ότι μία οντολογία είναι μία λογική θεωρία γραμμένη σε κάποια γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, που είναι παράλληλα συσχετισμένη με μία προτιθέμενη διερμηνεία. Η αξιολόγηση μίας οντολογίας πρέπει να καλύπτει τα δύο αυτά μέρη (θεωρία, διερμηνεία), την μεταξύ τους σχέση καθώς και το πώς ανταποκρίνεται στις προσδοκώμενες απαιτήσεις. Έτσι

μπορούμε να πούμε ότι η αξιολόγηση εξαρτάται άμεσα από τον σκοπό για τον οποίο προορίζεται το αποτέλεσμα και τις απαιτήσεις που περιμένουμε να καλύπτει. Ένας τρόπος για να εξετάσουμε το βαθμό ικανοποίησης των απαιτήσεων είναι τα λεγόμενα competency questions (ερωτήσεις επάρκειας) (Grüniger & Fox, 1995). Τα competency questions αντιπροσωπεύουν κάποιες εργασίες στις οποίες θέλουμε το αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται. Τυποποιώντας, λοιπόν, τα competency questions μπορούμε μετέπειτα να χρησιμοποιήσουμε αυτοματοποιημένους ‘provers’ για να αξιολογήσουμε κατά πόσο η οντολογία ικανοποιεί τις απαιτήσεις μας.

Ποια μπορεί να είναι η φύση των απαιτήσεων που έχουμε από μια οντολογία; Οι απαιτήσεις αυτές είναι δύο ειδών:

### **1. Οντολογικοί περιορισμοί:**

Οι οντολογικοί περιορισμοί είναι αυτοί που περιορίζουν τη δημιουργικότητα της μίξης, αποκλείοντας συγκεκριμένα ενδεχόμενα ή κατηγορίες ενδεχομένων από το χώρο μίξης.

Για παράδειγμα, ο περιορισμός μίας σχέσης να είναι ασύμμετρη ή να μην είναι αυτοπαθής.

### **2. Απαιτήσεις συνέπειας:**

Οι απαιτήσεις αφορούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που η μίξη υποτίθεται να έχει. Σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να απαιτούμε από κάποιες σχέσεις να λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές ή να μην επιτρέπεται να λάβουν κάποιες τιμές.

Με το Ontohub μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τα δύο είδη απαιτήσεων. Οι απαιτήσεις αυτές εισάγονται ως αρχείο της γλώσσας DOL.



## **Εφαρμογές Οντολογιών και Οντολογικής Μίξης**

Έχει ενδιαφέρον να παρουσιάσουμε διάφορες εφαρμογές των οντολογιών. Τέτοιες συναντάμε στα πεδία της Τεχνητής Νοημοσύνης, της μοντελοποίησης πεδίων γνώσεων, καθώς και σε αυτά των Concept Invention και General Intelligence. Άλλωστε μία σημαντική εφαρμογή είναι η μοντελοποίηση του Conceptual Blending, ως Ontological Blending, και το οποίο συσχετίζεται άμεσα με τα πεδία που αναφέραμε. Οι εφαρμογές που θα παρουσιάσουμε αποτελούν κάποιες επιλογές εκ των άρθρων που απαρτίζουν διάφορα τεύχη του “Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence”.

Πρώτο παράδειγμα που θα αναφέρουμε είναι αυτό της κατανόησης πρωτότυπων συνδυασμών λέξεων. Πιο συγκεκριμένα, η κατανόηση σύνθετων λέξεων που σχηματίζονται από τη συνένωση δύο άλλων και μπορεί να έχουν τη μορφή ουσιαστικό-ουσιαστικό ή επίθετο-ουσιαστικό. Ο Abdel-Fattah σε ένα άρθρο του (2012) αναδεικνύει το πόσο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαδικασία με την οποία ο ανθρώπινος νους επιχειρεί να ερμηνεύσει τέτοιους συνδυασμούς λέξεων, ακόμα και όταν τους αντιμετωπίζει για πρώτη φορά. Στόχος του είναι η κατασκευή ενός μοντέλου για την κατανόηση τέτοιων σύνθετων λέξεων, με την αξιοποίηση των εννοιών της αναλογίας και του Conceptual Blending. Περιγράφει πως κατά τη διαδικασία κατανόησης ο ανθρώπινος νους χρησιμοποιεί πεποιθήσεις και εμπειρίες. Για την κατασκευή αυτού του μοντέλου κάνει μερικές παραδοχές, όπως μεταξύ άλλων ότι υπάρχει μία βάση γνώσης  $K_B$  η οποία περιέχει και στην οποία μπορούν να προστίθενται πεποιθήσεις και εμπειρίες. Οι πεποιθήσεις και εμπειρίες είναι τυποποιημένες σε κάποια γλώσσα τυποποίησης (λογική γλώσσα). Πέραν του να προστίθενται νέες γνώσεις στη βάση, υπάρχει η δυνατότητα να αποδίδουμε στις υπάρχουσες εμπειρίες και πεποιθήσεις κάποιες αριθμητικές αξίες, τις οποίες αποκαλεί entrenchment values. Με τη χρήση αυτών των entrenchment values μπορούμε να αξιολογούμε τις πεποιθήσεις και εμπειρίες και κατά αυτήν την έννοια λειτουργούν σαν μνημονικοί κανόνες. Για την τυποποίηση των συνδυασμών είναι χρήσιμη η θεωρία του Conceptual Blending, ενώ το κυρίαρχο πλαίσιο με το οποίο αντιμετωπίζεται το πρόβλημα είναι το Heuristic-Driven Theory Projection. Το HDTP είναι ένα πολύ χρήσιμο σύστημα κατασκευής αναλογιών με το οποίο μπορούν να υπολογιστούν σχέσεις αναλογίας μεταξύ δύο πεδίων (θεωριών) τυποποιημένων σε πρωτοβάθμια κατηγορηματική λογική. Σύμφωνα με το HDTP η κατανόηση των σύνθετων λέξεων βασίζεται στην εμπειρία και το πλαίσιο στο οποίο αυτές παρουσιάζονται σε κάποιον παραλήπτη.

Η προηγούμενη εφαρμογή εκ πρώτης όψεως δεν μοιάζει σχετική με τις οντολογίες. Ωστόσο, αν λάβουμε υπ’ όψιν την προηγούμενη παράγραφο για την τυποποίηση της Εννοιολογικής Μίξης

με τις Οντολογίες τότε γίνεται κατανοητή η άμεση συσχέτιση της εφαρμογής αυτής με τις οντολογίες.

Μία άλλη ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι αυτή των F.Neuhaus et al (2014) στην οποία επιχειρείται η δημιουργία τεράτων. Το θέμα αυτό καθεαυτό μπορεί να ακούγεται περίεργο, ωστόσο η ουσία του άρθρου είναι η αυτοματοποίηση των διαδικασιών Conceptual Blending. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιώντας την τεχνολογία οντολογιών γίνεται μία προσπάθεια για μία αυτοματοποιημένη δημιουργία μίξεων διάφορων ζώων, που έχουν τυποποιηθεί σε μία βάση, με αποτέλεσμα τη γένεση τεράτων. Ουσιαστικά πρόκειται για το επόμενο βήμα από την απλή αναπαράσταση μίξεων με τη βοήθεια κατάλληλα επιλεγμένων οντολογιών εισόδων και οντολογίας βάσης. Οι μίξεις βέβαια πραγματοποιούνται πάντα με βάση κάποια κριτήρια που εμείς θα θέσουμε, αλλά αυτό δεν σημαίνει πως η διαδικασία δεν είναι αυτόματη.

Τέλος, μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι και το Polytropos Project (Mamakos C. , Stefaneas, Dimarogkona, & Ireson-Paine, 2014). Σε αυτό αξιοποιείται η έννοια του Conceptual Blending για το συνδυασμό διάφορων μορφών έκφρασης και επικοινωνίας όπως είναι η γλώσσα, ο ήχος, η εικόνα και η κίνηση. Εξερευνώνται με αυτόν τον τρόπο οι δημιουργικές δυνατότητες του Conceptual Blending σχετικά με τις διάφορες μορφές τέχνης. Άλλωστε, υπάρχουν διάφορες αναφορές στη θεωρία της τέχνης που περιγράφουν τον συνδυασμό των μορφών τέχνης, όπως για παράδειγμα στο βιβλίο του H.Hesse *The Glass Bead Game*.

# Πολυμεσική Έκθεση

## Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρώ την εφαρμογή των εννοιών όλων των προηγούμενων κεφαλαίων, κυρίως ωστόσο αυτή του ontology engineering, δηλαδή την κατασκευή οντολογίας για την εξυπηρέτηση κάποιου σκοπού. Για τον σκοπό αυτό θεώρησα ένα υποθετικό πρόβλημα, αυτό μιας πολυμεσικής έκθεσης. Με τον όρο πολυμεσική έκθεση (multimedia exhibition) εννοώ μία κατάσταση στην οποία για κάποιο λόγο θέλουμε να προβάλλουμε ετερογενές περιεχόμενο από διάφορες μορφές τέχνης σε κάποιον φυσικό χώρο ή ακόμα και στο διαδίκτυο. Η χρήση μιας οντολογίας σε μία τέτοια περίπτωση ίσως να μην είναι σαφής ή απαραίτητη, ωστόσο στην ενασχόληση μου με το θέμα δεν επικεντρώθηκα τόσο στους λόγους όσο στην ίδια τη διαδικασία, που αποδείχτηκε αρκετά απαιτητική -για ένα εισαγωγικό επίπεδο- και επομένως ιδανική για να εξοικειωθώ στοιχειωδώς με την *τεχνολογία οντολογιών* (ontology engineering).

Η βασική μου ιδέα, βασίζεται στην ανάγκη να υπάρχει ένα εργαλείο για την επιλογή περιεχομένου τέχνης από διάφορες μορφές και το οποίο να παρουσιάζει κοινή θεματολογία ή κάποιο άλλο κοινό χαρακτηριστικό. Πιο συγκεκριμένα, στην εφαρμογή μου θα ασχοληθώ με περιεχόμενο από τις τέχνες της ποίησης, της ζωγραφικής και της μουσικής. Βέβαια στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας αυτής δεν είχα καμία φιλοδοξία να λύσω ένα τόσο σύνθετο πρόβλημα ολοκληρωτικά, αντιθέτως επιθυμώ να σκιαγραφήσω έναν δικό μου τρόπο σκέψης σχετικά με το πρόβλημα και παράλληλα να εφαρμόσω στην πράξη ένα μέρος της θεωρίας των προηγούμενων κεφαλαίων.

Ο τρόπος προσέγγισής μου περιλαμβάνει κάποιες υποθέσεις. Πρώτη και κυριότερη, είναι η ύπαρξη μίας ικανοποιητικής βάσης δεδομένων για το περιεχόμενο των τεχνών. Για παράδειγμα βάσεις δεδομένων για τραγούδια και συνθέτες, ποιήματα και ποιητές καθώς και πίνακες ζωγραφικής και ζωγράφους. Σε αυτό το σημείο θέλω να τονίσω τη σημασία τέτοιες βάσεις δεδομένων να είναι τυποποιημένες σε γλώσσες οντολογιών, έστω ετερογενών, καθώς σε αυτή τη περίπτωση υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα. Όπως προκύπτει και από τα προηγούμενα κεφάλαια η δυνατότητα τροφοδότησης τέτοιων οντολογιών με μετα-πληροφορίες δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης ετερογενούς περιεχομένου όπως αυτό. Έτσι, το να εμπλουτίσουμε τέτοιες βάσεις με πληροφορίες για την μεταξύ τους σύνδεση είναι μια λύση στο πρόβλημα που περιγράφουμε.

Για την τυποποίηση του προβλήματος επέλεξα να δημιουργήσω τρεις διαφορετικές οντολογίες για την ποίηση, τη ζωγραφική και τη μουσική. Οι οντολογίες αυτές αποτελούν πολύ απλοποιημένες θεωρήσεις των τεχνών αυτών, με μόνο σκοπό την αξιοποίηση τους στο συγκεκριμένο παράδειγμα. Στο επόμενο βήμα δημιούργησα μία οντολογία για την πολυμεσική

έκθεση, η οποία περιέχει πολυμεσικά εκθέματα. Στην οντολογία αυτή εισήγαγα τις τρεις προηγούμενες οντολογίες και τις εμπλούτισα χειροκίνητα με επιπλέον πληροφορίες. Ο τρόπος με τον οποίο ταίριαζα τα περιεχόμενα των διαφορετικών τεχνών είναι με τη χρήση κάποιων Value Partitions στα οποία θα αναφερθώ αναλυτικότερα παρακάτω. Το αποτέλεσμα αν και αρκετά απλοϊκό και πρόχειρο στην παρουσίασή του πιστεύω σκιαγραφεί τον τρόπο αντιμετώπισης αυτού και παρόμοιων προβλημάτων.

## ***Protégé***

Όπως ανέφερα νωρίτερα, προχώρησα στην τυποποίηση τριών εννοιολογικών χώρων και σε έναν ακόμη που μπορεί να θεωρηθεί ως η μίξη τους. Οι τυποποιήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος *Protégé*. Το *Protégé* είναι ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη οντολογιών στη γλώσσα OWL, με τη χρήση μίας φιλικής προς το χρήστη διεπαφής και πολλών εργαλείων που βοηθούν τις διαδικασίες τυποποίησης. Με αυτόν τον τρόπο αποτελεί ένα εργαλείο που παρέχει σε μία συνεχώς αυξανόμενη κοινότητα χρηστών τη δυνατότητα να κατασκευάζουν μοντέλα και εφαρμογές βασισμένες σε βάσεις γνώσης και τις οντολογίες. Στην επόμενη παράγραφο παράλληλα με την περιγραφή της προσέγγισης του προβλήματος που ανέφερα νωρίτερα, θα προσπαθήσω να καλύψω και κάποια βασικά στοιχεία για τη χρήση του *Protégé*, καθώς και κάποια επιπλέον στοιχεία για τη γλώσσα OWL που δεν καλύφθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

## ***Δημιουργώντας το Μοντέλο για την Πολυμεσική Έκθεση***

Σε πρώτο στάδιο για την κατασκευή μίας οντολογίας, πρέπει να καθοριστούν οι θεμελιώδεις έννοιες του πεδίου που στοχεύουμε να μοντελοποιήσουμε. Για παράδειγμα, στην οντολογία για τη ζωγραφική επέλεξα τις έννοιες Painter και Painting ως τις θεμελιώδεις έννοιες του πεδίου. Έτσι το πρώτο βήμα ήταν να ορίσω δύο κλάσεις Painter και Painting κάθε μία για την αντίστοιχη θεμελιώδη έννοια. Οι κλάσεις στην OWL μπορούν να εκληφθούν σαν σύνολα που περιέχουν μέλη (individuals ή instances). Για τον ορισμό μίας κλάσης στην OWL, πέρα από το να δώσουμε κάποιο όνομα, συχνά παραθέτουμε και μία λίστα από προϋποθέσεις σύμφωνα με τις οποίες καθορίζονται τα μέλη που ανήκουν σ' αυτή την κλάση. Επιπλέον οι κλάσεις μπορεί να έχουν μία ιεραρχία και να σχηματίζονται με αυτόν τον τρόπο υπερ-κλάσεις (superclasses) και υπο-κλάσεις (subclasses).

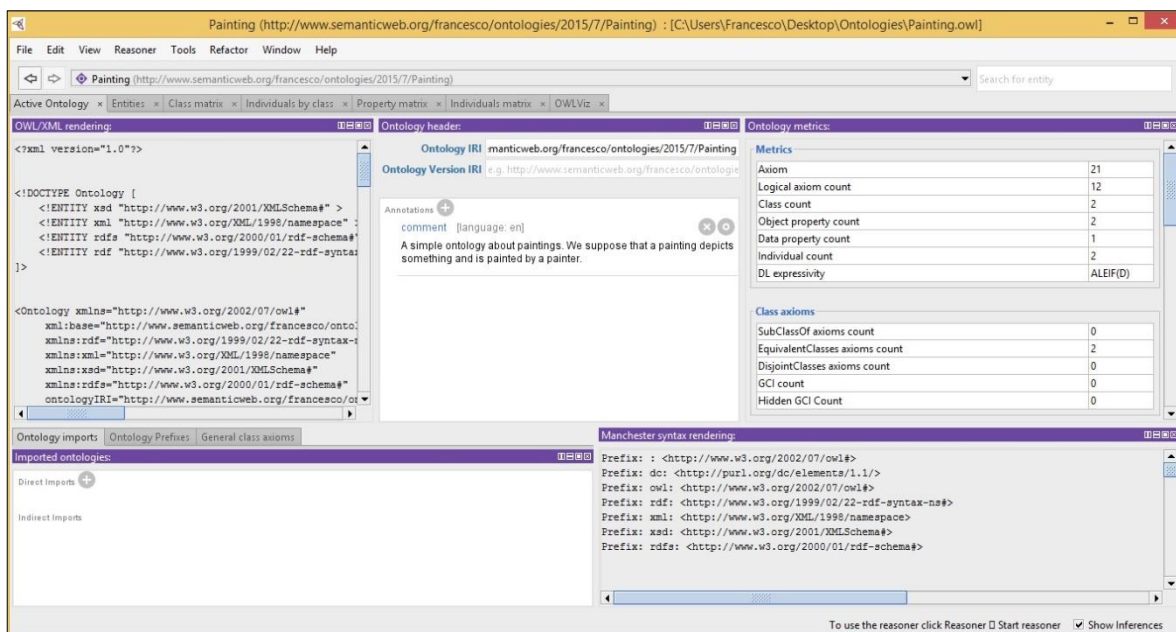
Αρχικά η μόνη κλάση που περιέχει μία κενή οντολογία είναι η κλάση Thing και κάθε νέα κλάση είναι υποκλάση αυτής. Η κλάση Thing αντιπροσωπεύει το σύνολο του οποίου μέλη είναι όλες οι μεμονωμένες οντότητες. Αντίστοιχα, τυποποιείται και η κενή κλάση με την ονομασία Nothing. Στην περίπτωση μας οι κλάσεις Painter και Painting είναι συγγενείς κλάσεις πρώτου βαθμού, δηλαδή έχουν την ίδια ιεραρχία καθώς είναι και οι δύο υποκλάσεις της κλάσης Thing και

δεν είναι καμία υποκλάση της άλλης (βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο). Μπορούμε να φανταστούμε την ιεραρχία σαν ένα δέντρο.

```
<Declaration>
  <Class IRI="#Painter"/>
</Declaration>
<Declaration>
  <Class IRI="#Painting"/>
</Declaration>
```

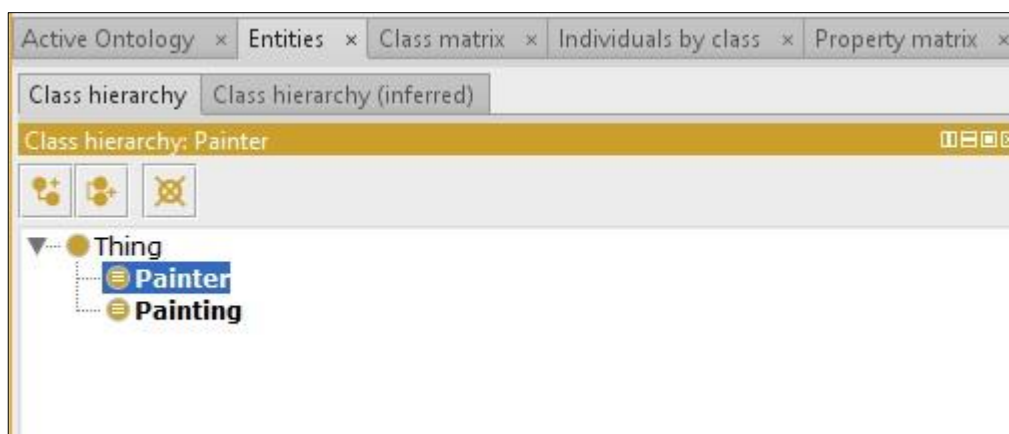
**Κώδικας 1: Ορισμός των κλάσεων Painter και Painting.**

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα βλέπουμε πως ορίζονται οι κλάσεις. Το *Protégé* παρέχει ένα tab στο οποίο εμφανίζεται αυτόματα κώδικας στη μορφή που έχουμε επιλέξει, εν προκειμένω OWL/XML format. Εμείς σαν χρήστες το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να χρησιμοποιήσουμε τα εργαλεία για τη δημιουργία κλάσεων, όπως το *Create class hierarchy* στο tab *Tools* και τα κουμπιά *Add subclass* ή *Add sibling class* στο tab *Class hierarchy*. Αφού ορίσουμε κάποιες κλάσεις για την οντολογία μας, μπορούμε στη συνέχεια να προσθέσουμε στοιχεία για αυτές τις κλάσεις όπως το να τις καταστήσουμε ξένες μεταξύ τους. Αυτό επίσης μπορούμε να το κάνουμε με διάφορους τρόπους στο *Protégé*, όπως με το να πατήσουμε το κουμπί *Add* δίπλα από το *Disjoint With* πεδίο στο tab *Description* που εμφανίζεται αν επιλέξουμε μία κλάση από το tab *Class hierarchy*.



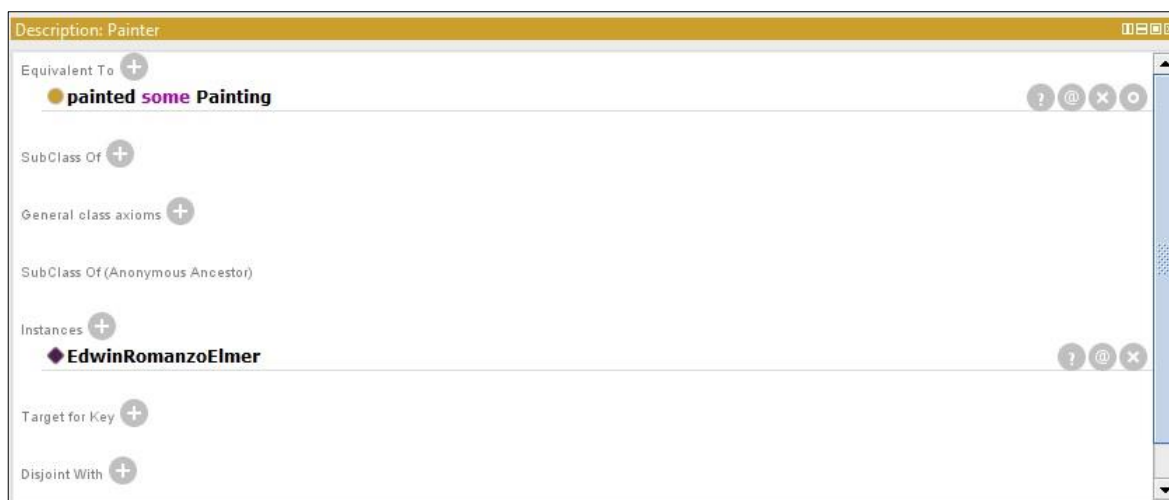
**Εικόνα 12: Η αρχική εικόνα του Protege στο Active Ontology tab.**

Για να καταλάβουμε καλύτερα όσα περιγράφονται παρατίθενται εικόνες για τα περισσότερα στοιχεία του *Protégé*. Στην προηγούμενη εικόνα βλέπουμε την αρχική εικόνα του *Protégé* ενώ στην επόμενη φαίνεται το Class hierarchy tab με τα κουμπιά Add subclass και Add sibling class.



Εικόνα 13: Το Class hierarchy tab για τη δημιουργία κλάσεων.

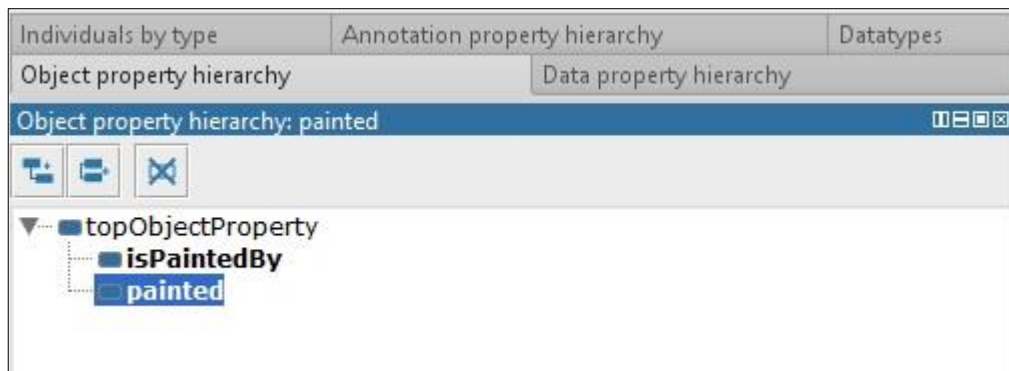
Αντίστοιχα βλέπουμε και το Description tab της επιλεγμένης κλάσης Painter, όπου μπορούμε να αλλάξουμε διάφορες ιδιότητες της κλάσης.



Εικόνα 14: Το Description tab της κλάσης Painter.

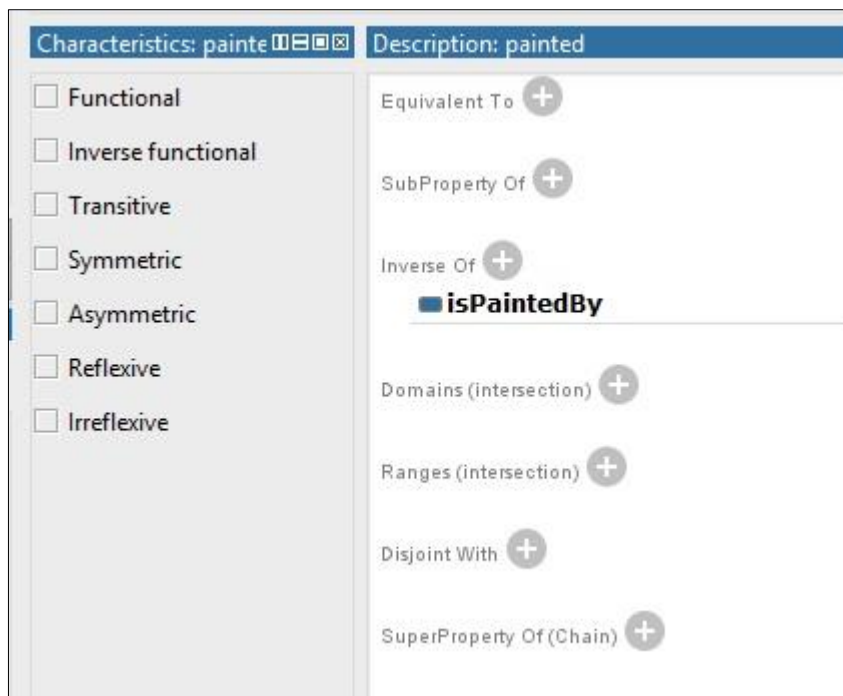
Επόμενο βήμα από τον ορισμό των κλάσεων είναι ο ορισμός κάποιων Properties, τα οποία αποτελούν σχέσεις μεταξύ αντικειμένων-μελών των κλάσεων. Με τη χρήση τέτοιων Properties μπορούμε, εκτός από το να συνδέσουμε διάφορα αντικείμενα, να ορίσουμε τις λεγόμενες Unnamed classes. Οι Unnamed classes είναι κλάσεις που δεν ορίζονται δίνοντας τους κάποιο όνομα, αλλά απλά γράφοντας μία πρόταση σχετικά με το ποια μέλη την αποτελούν. Τέτοια κλάση για παράδειγμα είναι και η *painted some Painting* κλάση που βλέπουμε στο πεδίο *Equivalent to* στην Εικόνα 14. Η πρόταση *painted some Painting* αποτελεί στην ουσία έναν περιορισμό, που περιορίζει τα μέλη που ανήκουν στην κλάση αυτή. Νωρίτερα όμως θα πρέπει να ορίσουμε το

Property painted. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε με παρόμοιο τρόπο, όπως ορίσαμε και τις κλάσεις, αυτή τη φορά στο tab Object property hierarchy.



Εικόνα 15: Το Object property hierarchy tab.

Εάν επιλέξουμε μια σχέση που έχουμε ορίσει από το Object property tab τότε εμφανίζεται, σε αντιστοιχία με τις κλάσεις, το tab Description που αφορά την επιλεγμένη σχέση καθώς και το tab Characteristics με επιπλέον πληροφορίες για τη σχέση.

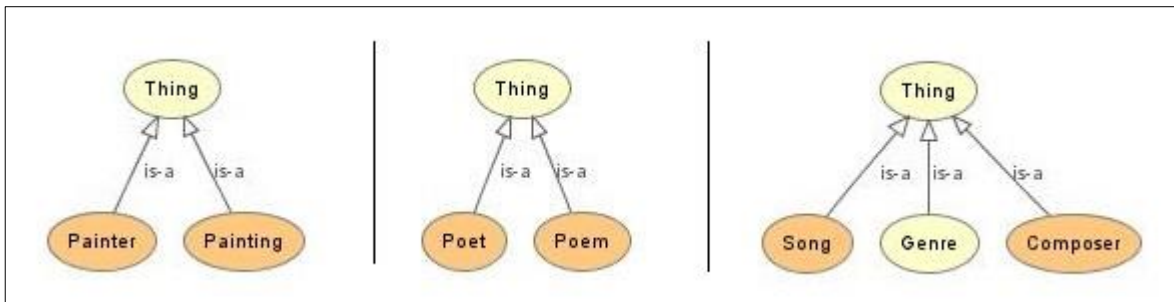


Εικόνα 16: Τα Characteristics και Description tabs για την σχέση painted.

Τα object properties είναι διμελείς σχέσεις που συνδέουν δύο individuals. Στην Εικόνα 16 βλέπουμε στο πεδίο Inverse Of να έχουμε τοποθετήσει τη σχέση isPaintedBy. Με απλά λόγια ορίσαμε τις δύο σχέσεις να είναι αντίστροφες. Δηλαδή, αν ένα αντικείμενο A συνδέεται μέσω της σχέσης painted με το αντικείμενο B, τότε το αντικείμενο B συνδέεται μέσω της σχέσης isPaintedBy με το αντικείμενο A. Ακόμα, πρέπει να τονίσουμε ότι οι σχέσεις στην OWL δεν είναι

συμμετρικές εκτός αν το δηλώσουμε εμείς να είναι. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε κλικάροντας το κουτί Symmetric στο tab Characteristics. Βέβαια το ότι δεν είναι συμμετρικές δεν σημαίνει ότι είναι και μη-συμμετρικές. Στην OWL ισχύει το Open World Assumption.

Σε αυτό το σημείο δεν θα αναλύσουμε κάθε μία από τις δυνατότητες που μας δίνει το Characteristics tab, αρκεί να πούμε ότι μας δίνονται οι εξής επιλογές: functional, inverse functional, transitive, symmetric, asymmetric, reflexive, irreflexive. Τέλος, με ένα plugin του Protégé, το OWL Viz, μπορούμε να δούμε γραφήματα των οντολογιών που δημιουργούμε.



Εικόνα 17: Απεικόνιση των οντολογιών Painting, Poem και Music με τη βοήθεια του OWL Viz.

Από αποσπάσματα κώδικα ενδιαφέρον έχει να δούμε το κομμάτι που αφορά το restriction που αναφέραμε νωρίτερα painted some Painting με το οποίο ορίσαμε να είναι ισοδύναμη η κλάση Painter.

```
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#Painter"/>
  <ObjectSomeValuesFrom>
    <ObjectProperty IRI="#painted"/>
    <Class IRI="#Painting"/>
  </ObjectSomeValuesFrom>
</EquivalentClasses>
```

Κώδικας 2: Η unnamed class painted some Painting.

Αντίστοιχα, ορίσαμε την κλάση Painting ως (isPaintedBy some Painter) and (depicts some string).

```
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#Painting"/>
  <ObjectIntersectionOf>
    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#isPaintedBy"/>
      <Class IRI="#Painter"/>
    </ObjectSomeValuesFrom>
    <DataSomeValuesFrom>
      <DataProperty IRI="#depicts"/>
      <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string"/>
    </DataSomeValuesFrom>
  </ObjectIntersectionOf>
</EquivalentClasses>
```

Κώδικας 3: Η ισοδύναμη κλάση της κλάσης Painting.



Εδώ το `depicts` είναι ένα datatype property με range (πεδίο τιμών) string, δηλαδή κείμενο. Με αυτόν τον τρόπο τα θέματα και τα αντικείμενα που απεικονίζει ένας πίνακας αποδίδονται στα μέλη της κλάσης `Painting` ως κείμενο. Η θεώρηση αυτή είναι αρκετά απλοϊκή, αλλά εξυπηρετεί το παράδειγμά μας.

Με τη χρήση του πεδίου `Equivalent To` στο *Protégé* καθιστούμε μία κλάση `defined`, δηλαδή ορισμένη. Αυτό σημαίνει ότι η `unnamed` κλάση με την οποία λέμε ότι είναι ισοδύναμη, αποτελεί ως πρόταση, αναγκαία και ικανή συνθήκη για τον καθορισμό των μελών της. Μια `defined class` σημειώνεται με τρεις οριζόντιες άσπρες γραμμές σε κίτρινο φόντο, στο `Class Hierarchy` tab.

Σε αυτό το σημείο θα ανακεφαλαιώσουμε περιγράφοντας τις τρεις οντολογίες που δημιουργήσαμε, ώστε να γίνει πιο εύκολα η περιγραφή της μίξης τους στη συνέχεια. Η πρώτη οντολογία περιέχει τις κλάσεις `Painting` και `Painter`, καθώς και τα object properties `painting` και `isPaintedBy`, και το datatype property `depicts`. Προηγουμένως, αναφερθήκαμε στη σημασιολογία όλων αυτών των οντοτήτων. Το τελευταίο κομμάτι του παζλ της πρώτης οντολογίας είναι ο ορισμός μερικών μελών των κλάσεων. Έτσι, όρισα τα individuals `EdwinRomanzoElmer` και `MourningPicturePainting`. Το πρώτο ως μέλος της κλάσης `Painter` και το δεύτερο της κλάσης `Painting`. Μάλιστα, συνδέσα τα δύο αυτά individuals με τον εξής τρόπο: `EdwinRomanzoElmer painting MourningPicturePainting` και `MourningPicturePainting isPaintedBy EdwinRomanzoElmer`.



Εικόνα 18: Ο πίνακας `Mourning Picture` του Edwin Romanzo Elmer.

Η δεύτερη οντολογία αφορά την τέχνη της ποίησης και την ονόμασα Poem. Σε αυτήν όρισα τις κλάσεις Poem και Poet. Ως object properties όρισα τα wrote και isWrittenBy με την ίδια ακριβώς λογική, όπως και στην οντολογία Painting. Παράλληλα, ως datatype properties όρισα τα describes και hasPoemLines, και τα δύο με range string. Με το describes μπορούμε να αποδώσουμε σε ένα individual της κλάσης Poem και σε μορφή κειμένου, τι ακριβώς περιγράφει το ποίημα. Αντίστοιχα με το hasPoemLines μπορούμε να αποδώσουμε τους στίχους σε μορφή κειμένου στο αντίστοιχο individual της κλάσης Poem. Τέλος, όρισα τα individuals MourningPicturePoem και AdrienneRich των κλάσεων Poem και Poet αντίστοιχα. Να τονίσω σε αυτό το σημείο ότι εξαρχής γέμισα τις οντολογίες με σχετικά μεταξύ τους individuals, προκειμένου να έχει κάποιο νόημα η μίξη τους στη συνέχεια. Το ποίημα της Adrienne Rich είναι εμπνευσμένο από τον ομότιτλο πίνακα Mourning Picture του Edwin Romanzo Elmer (Εικόνα 18).

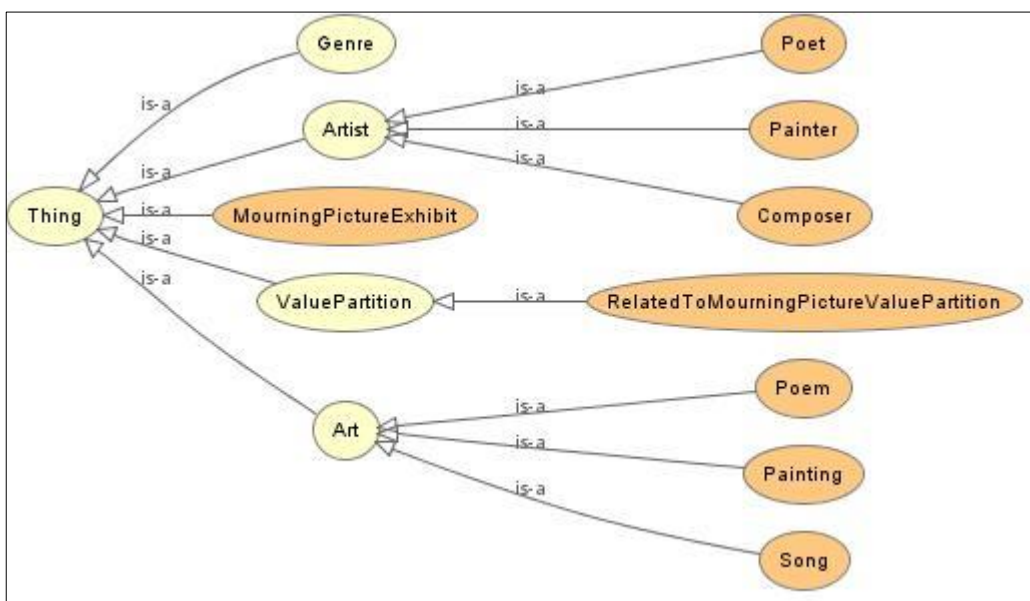
They have carried the mahogany chair and the cane  
rocker  
out under the lilac bush,  
and my father and mother darkly sit there, in black  
clothes.  
Our clapboard house stands fast on its hill,  
my doll lies in her wicker pram  
gazing at western Massachusetts.  
This was our world.  
I could remake each shaft of grass  
feeling its rasp on my fingers,  
draw out the map of every lilac leaf  
or the net of veins on my father's  
grief-tranced hand.  
Out of my head, half-bursting,  
still filling, the dream condenses--  
shadows, crystals, ceilings, meadows, globes of dew.  
Under the dull green of the lilacs, out in the light  
carving each spoke of the pram, the turned porch-  
pillars,  
under high early-summer clouds,  
I am Effie, visible and invisible,  
remembering and remembered.

**Εικόνα 19: Το ποίημα της Adrienne Rich.**

Η τρίτη οντολογία ονομάζεται Music και αφορά προφανώς την τέχνη της μουσικής. Σε αυτήν όρισα τι κλάσεις Song, Composer και Genre, τα object properties composed, composedBy και isOfGenre και τα individuals DmitriShostakovich, StringQuartetNo15 και Classic με το καθένα να ανήκει στην αντίστοιχη του κλάση. Η επιλογή των συγκεκριμένων individuals για την αποίκιση

των κλάσεων της οντολογίας Music έγιναν με εντελώς υποκειμενικά κριτήρια. Στην ουσία αυτές οι κλάσεις όπως και των οντολογιών Painting και Poem θεωρητικά θα προορίζονταν να αποτελούνται από μία μεγάλη βάση δεδομένων και στη συνέχεια με κάποια κριτήρια να γίνονται οι αντιστοιχίες. Εγώ επέλεξα να τις τροφοδοτήσω με λίγα individuals που εξ αρχής θεωρώ ότι έχουν μία αντιστοιχία, πρώτον γιατί θα ήταν πολύ δύσκολο στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας κάτι το συνθετότερο, και δεύτερον για να είναι πιο κατανοητό το παράδειγμα. Την αντιστοιχία του ποιήματος και του πίνακα εντόπισα σε μία πηγή του διαδικτύου (πηγή), ενώ το τραγούδι το επέλεξα μόνος μου απλά θεωρώντας ότι το συναίσθημα του (πένθιμο) βρίσκεται σε αντιστοιχία με τον πίνακα και το ποίημα. Παρακάτω θα εξηγήσω πως με τη χρήση κάποιων Value Partitions μπορούμε να αντιστοιχήσουμε διάφορα individuals, για παράδειγμα με κριτήριο το συναίσθημα τους.

Η τέταρτη οντολογία που δημιούργησα έχει την ονομασία Exhibit και αφορά την Πολυμεσική Έκθεση στην οποία αναφερθήκαμε στην εισαγωγή. Σε αυτήν την οντολογία εισήγαγα τις τρεις προηγούμενες, και αυτή είναι μία πολύ χρήσιμη δυνατότητα που μας δίνεται με την OWL. Στο *Protégé* αυτό μπορούμε να το πραγματοποιήσουμε χρησιμοποιώντας το πεδίο Direct Imports του tab Ontology imports.



Εικόνα 20: Η οντολογία Exhibit όπως απεικονίζεται με το OWL Viz.

Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 20, η οντολογία Exhibit περιέχει όλες τις κλάσεις των προηγούμενων οντολογιών, και μάλιστα χωρίς να χρειαστεί να τις ορίσουμε από την αρχή. Μία πρώτη διαφορά που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι η διαφορετική ιεραρχία με την οποία αυτές παρουσιάζονται. Αυτό είναι αποτέλεσμα δικής μου επεξεργασίας και δεν παράχθηκε αυτόματα από το *Protégé*. Έτσι όρισα την κλάση Art ως υπερκλάση των Poem, Painting, Song και αντίστοιχα την

κλάση Artist ως υπερκλάση των Poet, Painter, Composer. Ακόμα, άφησα ξέχωρα την κλάση Genre καθώς δεν θα διαδραματίσει κάποιον ρόλο στη μίξη και θα μπορούσα και να τη διαγράψω.

Πρωταγωνιστικό ρόλο σε αυτήν την οντολογία παίζει η κλάση MourningPictureExhibit ωστόσο αυτή την όρισα με τη βοήθεια μίας βοηθητικής κλάσης, της RelatedToMourningPictureValuePartition. Η τελευταία ουσιαστικά θα λειτουργήσει ως κριτήριο για το ποια από τα individuals θα αποτελέσουν μέλη της. Επιπλέον, την όρισα ως υποκλάση της κλάσης ValuePartition στην οποία μπορούμε να τοποθετήσουμε κι άλλες κλάσεις με παρόμοιο σκεπτικό. Την RelatedToMourningPictureValuePartition την όρισα ως ισοδύναμη του συνόλου  $\{Yes, No\}$ , όπου τα Yes και No είναι individuals. Πώς όμως λειτουργεί η κλάση αυτή; Για να γίνει αυτή χρηστική όρισα και ένα object property isRelatedToMourningPicture η οποία έχει range την RelatedToMourningPictureValuePartition, δηλαδή τα individuals Yes και No.

Στη συνέχεια όρισα την κλάση MourningPictureExhibit ως ισοδύναμη της ανώνυμης κλάσης isRelatedToMourningPicture value Yes. Με τον τρόπο αυτό συλλέγουμε στην κλάση MourningPictureExhibit όλα εκείνα τα περιεχόμενα τέχνης που είναι σχετικά με το θέμα Mourning Picture. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός πολυμεσικού εκθέματος που αποτελείται από ζωγραφική, ποίηση και μουσική. Το αντίστοιχο κομμάτι κώδικα φαίνεται παρακάτω.

```
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#MourningPictureExhibit"/>
  <ObjectHasValue>
    <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture"/>
    <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
  </ObjectHasValue>
</EquivalentClasses>
```

**Κώδικας 4: Ο ορισμός της κλάσης MourningPictureExhibit.**

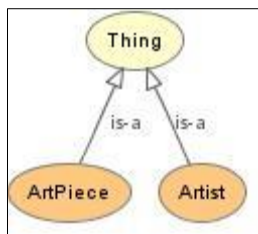
Το τελευταίο πολύ σημαντικό στοιχείο είναι το γεγονός ότι τα individuals στην κλάση MourningPictureExhibit έτσι όπως την ορίσαμε συλλέγονται αυτόματα με τη βοήθεια ενός reasoner. Στην έκδοση του *Protégé* με την οποία δούλεψα ήταν προεγκατεστημένος ο reasoner με την ονομασία Hermit 1.3.8.3. Υπάρχει βέβαια η δυνατότητα για εγκατάσταση και χρήση και άλλων reasoners.

## ***Η Οντολογία-Βάσης του Μοντέλου***

Ενδιαφέρον έχει και η αναπαράσταση της οντολογίας βάσης, ή μιλώντας με όρους σημειωτικής, του γενικού χώρου της μίξης. Σε αυτόν τον χώρο θέλουμε να περιέχεται η κοινή δομή των τριών χώρων εισόδων του παραδείγματος μας. Σε προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε πως τέτοιες οντολογίες δύνανται να παραχθούν αυτόματα χρησιμοποιώντας έννοιες από τη θεωρία

θεσμών, όπως τα colimits. Ωστόσο, στο πλαίσιο αυτής της εργασίας δημιούργησα χειροκίνητα μία τέτοια οντολογία και τυποποιώντας την επίσης με τη χρήση του *Protégé*.

Την οντολογία αυτή την ονόμασα ArtPiece και θέλησα σε αυτήν να παρουσιάσω την κοινή δομή των τριών οντολογιών εισόδων. Για αυτό τον σκοπό σε αυτήν όρισα τις κλάσεις Artist και ArtPiece κατ' αναλογία με τις τρεις άλλες οντολογίες, όπου σε όλες περιέχεται μία κλάση που αφορά τον δημιουργό κάποιου περιεχομένου τέχνης (Painter, Poet, Composer) και την μορφή τέχνης την οποία παράγει (Painting, Poem, Song).



Εικόνα 21: Η οντολογία-βάσης για το μοντέλο της Πολυμεσικής Έκθεσης.

Παράλληλα, όρισα τα object properties created και isCreatedBy με την βοήθεια των οποίων κατέστησα τις κλάσεις της οντολογίας αυτής ως defined classes. Πιο συγκεκριμένα, την κλάση Artist την όρισα ως ισοδύναμη της unnamed class created some ArtPiece. Από την άλλη πλευρά, την κλάση ArtPiece την όρισα ισοδύναμη της (isCreatedby some Artist) and (represents some string). Στην τελευταία πρόταση το represents είναι ένα datatype property με τη βοήθεια του οποίου αποδίδεται σε ένα individual τύπου ArtPiece το περιεχόμενο το οποίο αναπαριστά με τη μορφή κειμένου.

Η αντιστοιχία της οντολογίας βάσης με τις άλλες τρεις είναι προφανής και μπορούμε να πούμε ότι στην πραγματικότητα οι τρεις αυτές οντολογίες είναι ισοδύναμες αν μεταφραστούν απλά τα ονόματα των κλάσεων και των properties τους. Το μόνο στοιχείο που αγνοήθηκε είναι η κλάση Genre της οντολογίας Music η οποία δεν είχε αντίστοιχη στις άλλες δύο. Επίσης, η οντολογία Poem είχε δύο datatype properties τα οποία προβάλλονται σε ένα μοναδικό στην οντολογία βάσης. Τέλος, δεν έχει νόημα να προσθέσουμε individuals στην οντολογία βάσης, καθώς η μόνη λειτουργία που εξυπηρετεί στη διαδικασία της μίξης είναι να καταδείξει την κοινή δομή των οντολογιών εισόδων, στην προσπάθειά μας για μία ικανοποιητική μίξη.

## **Συμπεράσματα και Προτάσεις για το Μέλλον**

Πριν περάσουμε στην ξερή παράθεση του κώδικα που περιγράφει ό,τι καλύψαμε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι απαραίτητο να σχολιάσουμε τι ακριβώς πετύχαμε. Σε καμία περίπτωση η προηγούμενη παράγραφος δεν παρουσιάζει μία καθολική λύση στο πρόβλημα που περιγράψαμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου. Αυτό που ελπίζω να επετεύχθη είναι η σκιαγράφηση

μιας μεθόδου αντιμετώπισης αυτού και άλλων παρόμοιων προβλημάτων. Πράγματι, δείξαμε ότι είναι εφικτή η ενοποίηση ετερογενούς περιεχομένου από διάφορες μορφές τέχνης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των Value Partitions, ή πιο απλά συγκεκριμένων κριτηρίων υπό των οποίων έχει νόημα μια ετερογενής συλλογή περιεχομένου τέχνης. Τέτοια κριτήρια μπορεί να είναι το συναίσθημα που δημιουργείται στον παραλήπτη της τέχνης, η σχολή στην οποία ανήκει το περιεχόμενο της τέχνης κ.ά.

Προκειμένου να γίνει πραγματικότητα όμως η δημιουργία ενός εργαλείου με τη βοήθεια του οποίου θα συγκεντρώνουμε ετερογενές περιεχόμενο, απαραίτητη είναι η ανάπτυξη και συντήρηση οντολογιών. Και λέμε οντολογιών και όχι απλά βάσεων δεδομένων, γιατί οι οντολογίες παρέχουν ακριβώς εκείνα τα χαρακτηριστικά που χρειάζονται στο πρόβλημα μας. Το πιο σημαντικό είναι οι μετα-πληροφορίες που μπορούμε να εισάγουμε στις βάσεις και με τις οποίες στη συνέχεια κάποιος reasoner μπορεί να αντλήσει χρήσιμα συμπεράσματα και να επιτρέψει την αυτοματοποίηση της διαδικασίας. Τα προβλήματα σε ένα τέτοιο εγχείρημα μπορεί να ξεπερνούν το όποιο ενδιαφέρον για ένα τέτοιο ζήτημα (πνευματικά δικαιώματα, μέγεθος βάσεων δεδομένων κλπ). Ωστόσο, θα πρέπει να αναδειχθούν τα οφέλη που μπορεί να έχει η ίδια η Τέχνη από την ενοποίησή της, με τη συμβολή των επιστημών.

## ***Ο Κώδικας σε OWL/XML***

### ***Η Οντολογία Painting***

```
<?xml version="1.0"?>
```

```
<!DOCTYPE Ontology [  
  <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >  
  <!ENTITY xml "http://www.w3.org/XML/1998/namespace" >  
  <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >  
  <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >  
>]  
  
<Ontology xmlns="http://www.w3.org/2002/07/owl#"  
  xml:base="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Painting"  
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"  
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"  
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"  
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"  
  
ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Painting">  
  <Prefix name="" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />  
  <Prefix name="dc" IRI="http://purl.org/dc/elements/1.1/" />  
  <Prefix name="owl" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />  
  <Prefix name="rdf" IRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" />  
  <Prefix name="xml" IRI="http://www.w3.org/XML/1998/namespace#" />  
  <Prefix name="xsd" IRI="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" />  
  <Prefix name="rdfs" IRI="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" />  
  <Annotation>
```

```

    <AnnotationProperty abbreviatedIRI="rdfs:comment"/>
    <Literal xml:lang="en" datatypeIRI="&rdf;PlainLiteral">A simple
ontology about paintings. We suppose that a painting depicts something and is
painted by a painter.</Literal>
  </Annotation>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Painter"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Painting"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <ObjectProperty IRI="#isPaintedBy"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <ObjectProperty IRI="#painted"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <DataProperty IRI="#depicts"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <NamedIndividual IRI="#EdwinRomanzoElmer"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <AnnotationProperty abbreviatedIRI="rdfs:comment"/>
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string"/>
  </Declaration>
  <EquivalentClasses>
    <Class IRI="#Painter"/>
    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#painted"/>
      <Class IRI="#Painting"/>
    </ObjectSomeValuesFrom>
  </EquivalentClasses>
  <EquivalentClasses>
    <Class IRI="#Painting"/>
    <ObjectIntersectionOf>
      <ObjectSomeValuesFrom>
        <ObjectProperty IRI="#isPaintedBy"/>
        <Class IRI="#Painter"/>
      </ObjectSomeValuesFrom>
      <DataSomeValuesFrom>
        <DataProperty IRI="#depicts"/>
        <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string"/>
      </DataSomeValuesFrom>
    </ObjectIntersectionOf>
  </EquivalentClasses>
  <ClassAssertion>
    <Class IRI="#Painter"/>
    <NamedIndividual IRI="#EdwinRomanzoElmer"/>
  </ClassAssertion>
  <ClassAssertion>
    <Class IRI="#Painting"/>
    <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  </ClassAssertion>

```



```

</ClassAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#painted"/>
  <NamedIndividual IRI="#EdwinRomanzoElmer"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#isPaintedBy"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  <NamedIndividual IRI="#EdwinRomanzoElmer"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#depicts"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  <Literal datatypeIRI="&xsd:string">Elmer&apos; s wife wearing black
clothes, sitting in a chair</Literal>
</DataPropertyAssertion>
<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#depicts"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  <Literal datatypeIRI="&xsd:string">Elmer&apos; s daughter Effie, along
with her pet lamb and kitten</Literal>
</DataPropertyAssertion>
<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#depicts"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  <Literal datatypeIRI="&xsd:string">Edwin Romanzo Elmer wearing black
clothes, sitting in a chair</Literal>
</DataPropertyAssertion>
<InverseObjectProperties>
  <ObjectProperty IRI="#isPaintedBy"/>
  <ObjectProperty IRI="#painted"/>
</InverseObjectProperties>
<FunctionalObjectProperty>
  <ObjectProperty IRI="#isPaintedBy"/>
</FunctionalObjectProperty>
<DataPropertyRange>
  <DataProperty IRI="#depicts"/>
  <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string"/>
</DataPropertyRange>
</Ontology>

```

### *H Οντολογία Poem*

```
<?xml version="1.0"?>
```

```

<!DOCTYPE Ontology [
  <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
  <!ENTITY xml "http://www.w3.org/XML/1998/namespace" >
  <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
  <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
]>

```

```

<Ontology xmlns="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Poem"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"

```



```

xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Poem">
<Prefix name="" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
<Prefix name="owl" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
<Prefix name="rdf" IRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" />
<Prefix name="xsd" IRI="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" />
<Prefix name="rdfs" IRI="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" />
<Declaration>
  <Class IRI="#Poem" />
</Declaration>
<Declaration>
  <Class IRI="#Poet" />
</Declaration>
<Declaration>
  <ObjectProperty IRI="#isWrittenBy" />
</Declaration>
<Declaration>
  <ObjectProperty IRI="#wrote" />
</Declaration>
<Declaration>
  <DataProperty IRI="#describes" />
</Declaration>
<Declaration>
  <DataProperty IRI="#hasPoemLines" />
</Declaration>
<Declaration>
  <NamedIndividual IRI="#AdrienneRich" />
</Declaration>
<Declaration>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture" />
</Declaration>
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#Poem" />
  <ObjectIntersectionOf>
    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#isWrittenBy" />
      <Class IRI="#Poet" />
    </ObjectSomeValuesFrom>
    <DataSomeValuesFrom>
      <DataProperty IRI="#describes" />
      <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string" />
    </DataSomeValuesFrom>
    <DataSomeValuesFrom>
      <DataProperty IRI="#hasPoemLines" />
      <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string" />
    </DataSomeValuesFrom>
  </ObjectIntersectionOf>
</EquivalentClasses>
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#Poet" />
  <ObjectSomeValuesFrom>
    <ObjectProperty IRI="#wrote" />
    <Class IRI="#Poem" />
  </ObjectSomeValuesFrom>
</EquivalentClasses>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#Poet" />
  <NamedIndividual IRI="#AdrienneRich" />

```

```

</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#Poem"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
</ClassAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#wrote"/>
  <NamedIndividual IRI="#AdrienneRich"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#isWrittenBy"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  <NamedIndividual IRI="#AdrienneRich"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#describes"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  <Literal datatypeIRI="&xsd:string">A man and a woman in black clothes
sitting in a mahogany chair and a cane rocker.</Literal>
</DataPropertyAssertion>
<DataPropertyAssertion>
  <DataProperty IRI="#hasPoemLines"/>
  <NamedIndividual IRI="#MourningPicture"/>
  <Literal datatypeIRI="&xsd:string">They have carried the mahogany chair
and the cane rocker
out under the lilac bush,
and my father and mother darkly sit there, in black clothes.
Our clapboard house stands fast on its hill,
my doll lies in her wicker pram
gazing at western Massachusetts.
This was our world.
I could remake each shaft of grass
feeling its rasp on my fingers,
draw out the map of every lilac leaf
or the net of veins on my father's
grief-tranced hand.

Out of my head, half-bursting,
still filling, the dream condenses--
shadows, crystals, ceilings, meadows, globes of dew.
Under the dull green of the lilacs, out in the light
carving each spoke of the pram, the turned porch-pillars,
under high early-summer clouds,
I am Effie, visible and invisible,
remembering and remembered.</Literal>
</DataPropertyAssertion>
<InverseObjectProperties>
  <ObjectProperty IRI="#isWrittenBy"/>
  <ObjectProperty IRI="#wrote"/>
</InverseObjectProperties>
<FunctionalObjectProperty>
  <ObjectProperty IRI="#isWrittenBy"/>
</FunctionalObjectProperty>
<DataPropertyRange>
  <DataProperty IRI="#describes"/>
  <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string"/>
</DataPropertyRange>
<DataPropertyRange>

```

```

        <DataProperty IRI="#hasPoemLines"/>
        <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string"/>
    </DataPropertyRange>
</Ontology>

```

### *H Οντολογία Music*

```
<?xml version="1.0"?>
```

```

<!DOCTYPE Ontology [
    <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
    <!ENTITY xml "http://www.w3.org/XML/1998/namespace" >
    <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
    <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
]
>

<Ontology xmlns="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
    xml:base="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Music"
    xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
    xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
    xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
    xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"

ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Music">
    <Prefix name="" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
    <Prefix name="owl" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
    <Prefix name="rdf" IRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" />
    <Prefix name="xsd" IRI="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" />
    <Prefix name="rdfs" IRI="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" />
    <Declaration>
        <Class IRI="#Composer" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <Class IRI="#Genre" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <Class IRI="#Song" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <ObjectProperty IRI="#composed" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <ObjectProperty IRI="#composedBy" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <ObjectProperty IRI="#isOfGenre" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <NamedIndividual IRI="#Classic" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <NamedIndividual IRI="#DmitriShostakovich" />
    </Declaration>
    <Declaration>
        <NamedIndividual IRI="#StringQuartetNo15" />
    </Declaration>
    <EquivalentClasses>
        <Class IRI="#Composer" />

```

```

    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#composed"/>
      <Class IRI="#Song"/>
    </ObjectSomeValuesFrom>
  </EquivalentClasses>
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#Song"/>
  <ObjectIntersectionOf>
    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#composedBy"/>
      <Class IRI="#Composer"/>
    </ObjectSomeValuesFrom>
    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#isOfGenre"/>
      <Class IRI="#Genre"/>
    </ObjectSomeValuesFrom>
  </ObjectIntersectionOf>
</EquivalentClasses>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#Genre"/>
  <NamedIndividual IRI="#Classic"/>
</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#Composer"/>
  <NamedIndividual IRI="#DmitriShostakovich"/>
</ClassAssertion>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#Song"/>
  <NamedIndividual IRI="#StringQuartetNo15"/>
</ClassAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#composed"/>
  <NamedIndividual IRI="#DmitriShostakovich"/>
  <NamedIndividual IRI="#StringQuartetNo15"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#composedBy"/>
  <NamedIndividual IRI="#StringQuartetNo15"/>
  <NamedIndividual IRI="#DmitriShostakovich"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<ObjectPropertyAssertion>
  <ObjectProperty IRI="#isOfGenre"/>
  <NamedIndividual IRI="#StringQuartetNo15"/>
  <NamedIndividual IRI="#Classic"/>
</ObjectPropertyAssertion>
<InverseObjectProperties>
  <ObjectProperty IRI="#composedBy"/>
  <ObjectProperty IRI="#composed"/>
</InverseObjectProperties>
<FunctionalObjectProperty>
  <ObjectProperty IRI="#composedBy"/>
</FunctionalObjectProperty>
<ObjectPropertyRange>
  <ObjectProperty IRI="#composed"/>
  <Class IRI="#Song"/>
</ObjectPropertyRange>
<ObjectPropertyRange>
  <ObjectProperty IRI="#composedBy"/>
  <Class IRI="#Composer"/>

```

```

    </ObjectPropertyRange>
    <ObjectPropertyRange>
      <ObjectProperty IRI="#isOfGenre"/>
      <Class IRI="#Genre"/>
    </ObjectPropertyRange>
  </Ontology>

```

### ***H Οντολογία Exhibit1.1***

```
<?xml version="1.0"?>
```

```

<!DOCTYPE Ontology [
  <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
  <!ENTITY xml "http://www.w3.org/XML/1998/namespace" >
  <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
  <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
]

```

```
<Ontology xmlns="http://www.w3.org/2002/07/owl#">
```

```

  xml:base="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Exhibit1.1"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"

```

```

  ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Exhibit1.1"
  >

```

```

  <Prefix name="" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
  <Prefix name="owl" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
  <Prefix name="rdf" IRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" />
  <Prefix name="xsd" IRI="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" />
  <Prefix name="rdfs" IRI="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" />

```

```
<Import>http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Music</Import>
```

```
<Import>http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Painting</Import>
```

```
<Import>http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Poem</Import>
```

```

  <Declaration>
    <Class IRI="#Art" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Artist" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#MourningPictureExhibit" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#RelatedToMourningPictureValuePartition" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#ValuePartition" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture" />
  </Declaration>

```

```

<Declaration>
  <NamedIndividual IRI="#No"/>
</Declaration>
<Declaration>
  <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
</Declaration>
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#MourningPictureExhibit"/>
  <ObjectHasValue>
    <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture"/>
    <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
  </ObjectHasValue>
</EquivalentClasses>
<EquivalentClasses>
  <Class IRI="#RelatedToMourningPictureValuePartition"/>
  <ObjectOneOf>
    <NamedIndividual IRI="#No"/>
    <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
  </ObjectOneOf>
</EquivalentClasses>
<SubClassOf>
  <Class IRI="#RelatedToMourningPictureValuePartition"/>
  <Class IRI="#ValuePartition"/>
</SubClassOf>
<SubClassOf>
  <Class
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Music#Composer"/>
  <Class IRI="#Artist"/>
</SubClassOf>
<SubClassOf>
  <Class
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Music#Song"/>
  <Class IRI="#Art"/>
</SubClassOf>
<SubClassOf>
  <Class
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Painting#Painter"/>
  <Class IRI="#Artist"/>
</SubClassOf>
<SubClassOf>
  <Class
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Painting#Painting"/
>
  <Class IRI="#Art"/>
</SubClassOf>
<SubClassOf>
  <Class
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Poem#Poem"/>
  <Class IRI="#Art"/>
</SubClassOf>
<SubClassOf>
  <Class
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Poem#Poet"/>
  <Class IRI="#Artist"/>
</SubClassOf>
<ClassAssertion>
  <Class IRI="#RelatedToMourningPictureValuePartition"/>
  <NamedIndividual IRI="#No"/>
</ClassAssertion>

```

```

    <ClassAssertion>
      <Class IRI="#RelatedToMourningPictureValuePartition"/>
      <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
    </ClassAssertion>
    <DifferentIndividuals>
      <NamedIndividual IRI="#No"/>
      <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
      <NamedIndividual
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Music#StringQuartet
No15"/>
      <NamedIndividual
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Painting#MourningPi
cturePainting"/>
      <NamedIndividual
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Poem#MourningPictur
ePoem"/>
    </DifferentIndividuals>
    <ObjectPropertyAssertion>
      <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture"/>
      <NamedIndividual
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Music#StringQuartet
No15"/>
      <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
    </ObjectPropertyAssertion>
    <ObjectPropertyAssertion>
      <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture"/>
      <NamedIndividual
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Painting#MourningPi
cturePainting"/>
      <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
    </ObjectPropertyAssertion>
    <ObjectPropertyAssertion>
      <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture"/>
      <NamedIndividual
IRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/Poem#MourningPictur
ePoem"/>
      <NamedIndividual IRI="#Yes"/>
    </ObjectPropertyAssertion>
    <FunctionalObjectProperty>
      <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture"/>
    </FunctionalObjectProperty>
    <ObjectPropertyRange>
      <ObjectProperty IRI="#isRelatedToMourningPicture"/>
      <Class IRI="#RelatedToMourningPictureValuePartition"/>
    </ObjectPropertyRange>
  </Ontology>

```

### *H Οντολογία ArtPiece*

```
<?xml version="1.0"?>
```

```

<!DOCTYPE Ontology [
  <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" >
  <!ENTITY xml "http://www.w3.org/XML/1998/namespace" >
  <!ENTITY rdfs "http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" >
  <!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
]>

```

```

<Ontology xmlns="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/ArtPiece"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"

ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/francesco/ontologies/2015/7/ArtPiece">
  <Prefix name="" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
  <Prefix name="owl" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
  <Prefix name="rdf" IRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" />
  <Prefix name="xsd" IRI="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" />
  <Prefix name="rdfs" IRI="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" />
  <Declaration>
    <Class IRI="#ArtPiece" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#Artist" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <ObjectProperty IRI="#created" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <ObjectProperty IRI="#isCreatedBy" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <DataProperty IRI="#represents" />
  </Declaration>
  <EquivalentClasses>
    <Class IRI="#ArtPiece" />
    <ObjectIntersectionOf>
      <ObjectSomeValuesFrom>
        <ObjectProperty IRI="#isCreatedBy" />
        <Class IRI="#Artist" />
      </ObjectSomeValuesFrom>
      <DataSomeValuesFrom>
        <DataProperty IRI="#represents" />
        <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string" />
      </DataSomeValuesFrom>
    </ObjectIntersectionOf>
  </EquivalentClasses>
  <EquivalentClasses>
    <Class IRI="#Artist" />
    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#created" />
      <Class IRI="#ArtPiece" />
    </ObjectSomeValuesFrom>
  </EquivalentClasses>
  <InverseObjectProperties>
    <ObjectProperty IRI="#isCreatedBy" />
    <ObjectProperty IRI="#created" />
  </InverseObjectProperties>
  <DataPropertyRange>
    <DataProperty IRI="#represents" />
    <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string" />
  </DataPropertyRange>
</Ontology>

```



## Βιβλιογραφία

- Besold, T. R., Kuhnberger, K.-U., Schorlemmer, M., & Smail, A. (Επιμ.). (2012). Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence. *1*. Osnabrück, Germany: Publication of the Institute of Cognitive Science.
- Besold, T. R., Kuhnberger, K.-U., Schorlemmer, M., & Smail, A. (Επιμ.). (2014). Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence. *1*. Osnabrück, Germany: Publications of the Institute of Cognitive Science.
- Abdel-Fattah, A. (2012). On the feasibility of concept blending in interpreting novel noun compounds. *Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence, 1*, σ. 27.
- Abusaeedi, A. A., Ahangar, A. A., Sarani, A., & Kangan, Z. K. (2012). The Study of Metaphoric Advertisements in Some Iranian Family Journals Based on Conceptual Blending. *International Journal of Linguistics, 4*(3).
- Clancey, W. J. (1993). The Knowledge Level Reinterpreted: Modelling Socio-Technical Systems. *International Journal of Intelligent Systems, 8*, 33-49.
- Cocchiarella, N. B. (1991). Formal Ontology. Στο H. Burkhardt, & B. Smith (Επιμ.), *Handbook of Metaphysics and Ontology* (σσ. 640-647). Munich: Philosophia Verlag.
- Coulson, S., & Oakley, T. (2000). Blending basics. *Cognitive linguistics, 11*(3/4), 175-196.
- Dean, M., Schreiber, G., Bechhofer, G., Van Harmelen, F., & Hendler, J. (2004, February). OWL web ontology language reference. *W3C Recommendation*.
- Fauconnier, G. (2000). Conceptual Blending. Στο *The Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*.
- Fauconnier, G., & Turner, M. (1998). Conceptual integration networks. *Cognitive science, 2*(2), 133-187.
- Fauconnier, G., & Turner, M. (2003). Conceptual blending, form and meaning. *Recherches en Communication, 19*, 57-86.
- Goguen, J. (1999). An introduction to algebraic semiotics, with applications to user interface design. (C. Nehaniv, Επιμ.) *Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1562*, σσ. 242-291.
- Goguen, J. (2003). Semiotic morphisms, representations, and blending for interface design. *AMAST Workshop on Algebraic Methods in Language Processing*, (σσ. 1-15).

- Goguen, J., & Fox, H. (2004). Style as a choice of blending principles. Στο A. Shlomo, D. Shlomo, & J. Jupp, *Style and Meaning in Language, Art Music and Design* (σσ. 49–56). AAAI Press.
- Goguen, J., Mori, A., & Lin, K. (1997). Algebraic semiotics ProofWebs and distributed cooperative proving. Στο Y. Bartot (Επιμ.), *User Interfaces for Theorem Provers* (σσ. 25–34). Sophia Antipolis: INRIA.
- Gruber, T. (2008). Ontology. Στο L. & Ozsu (Επιμ.), *Encyclopedia of database systems*.
- Grüniger, M., & Fox, M. (1995). The role of competency questions in enterprise engineering. Στο *Benchmarking—Theory and Practice* (σσ. 22–31). Springer US.
- Guarino, N. (1995). Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International journal of human-computer studies*, 43(5), 625–640.
- Guarino, N., Carrara, M., & Giaretta, P. (1994). An Ontology of Meta-Level. Στο J. Doyle, E. Sandewall, & P. Torasso (Επιμ.), *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Fourth International Conference (KR94)*. (σσ. 270–280). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- Heflin, J. (2004). OWL Web Ontology Language-Use Cases and Requirements. *W3C Recommendation*, 10(12).
- Joy, A., Sherry, J. F., & Deschenes, J. (2009). Conceptual blending in advertising. *Journal of business research*, 62(1), 39–49.
- Kutz, O., Mossakowski, T., & Lucke, D. (2010). Carnap, Goguen, and the hyperontologies: logical pluralism and heterogeneous structuring in ontology design. *Logica Universalis*, 4(2), σσ. 255–333.
- Lange, C., Kutz, O., Mossakowski, T., & Gruninger, M. (2012). The distributed ontology language (DOL): ontology integration and interoperability applied to mathematical formalization. *Intelligent Computer Mathematics*, σσ. 463–467.
- Lange, C., Mossakowski, T., Kutz, O., Galinski, C., Gruninger, M., & Couto Vale, D. (2012). The Distributed Ontology Language (DOL): Use Cases, Syntax, and Extensibility. *arXiv preprint arXiv*.
- Lejewski, C. (1982). ‘Ontology: What’s Next?’. Στο W. Leinfellnep, E. Kraemer, & J. Schank (Επιμ.), *Language and Ontology. Proceedings of the 6th International Wittgenstein Symposium* (σσ. 173–85). Vienna: Hölder-Pichler-Tempsky.
- Mamakos, C., Stefaneas, P., Dimarogkona, M., & Ireson-Paine, J. (2014). Polytropos project: experiments in blending. Στο T. R. Besold, K.-U. Kuhnberger, M. Schorlemmer, & A.

- Smaill (Επιμ.), *Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence. 1.* PICS.
- Mamakos, C., Stefaneas, P., Dimarogkona, M., & Ireson-Paine, J. (2014). Polytropos project: experiments in blending. *Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence, 1.*
- McGuinness, D., & Van Harmelen, F. (2004). OWL web ontology language overview. *W3C recommendation, 10(10).*
- Mossakowski, T., Kutz, O., Codescu, M., & Lange, C. (2013). The Distributed Ontology, Modelling and Specification Language–DOL. *Workshop on Modular Ontologies.*
- Mossakowski, T., Lange, C., & Kutz, O. (2013). Three semantics for the core of the distributed ontology language. *Twenty-Third international joint conference on Artificial Intelligence.* AAAI Press.
- Neuhaus, F., Kutz, O., Codescu, M., & Mossakowski, T. (2014). "Fabricating monsters is hard: towards the automation of conceptual blending. *Computational Creativity, Concept Invention, and General Intelligence, 1.*
- Newell, A. (1982). The Knowledge Level. *Artificial Intelligence, 18,* 87-127.
- Nutter, J. T. (1987). Epistemology. Στο J. Wyley, *Encyclopedia of Artificial Intelligence.* Shapiro, S.
- Ruiz, J. H. (2006). The role of metaphor, metonymy, and conceptual blending in understanding advertisements: the case of drug-prevention ads. *Revista alicantina de estudios ingleses, 19,* 169-190.
- Strawson, P. F. (1959). *Individuals. An Essay in Descriptive Metaphysics.* London and New York: Routledge.
- Tarski, A. (1929). Les fondements de la géométrie des corps. *Annales de la Société Polonaise de Mathématique, 7,* σσ. 29-33.
- Uschold, M., & Gruninger, M. (1996). Ontologies: Principles, methods and applications. *The knowledge engineering review, 11(02),* σσ. 93-136.
- Varzi, A. C. (1994). On the boundary between mereology and topology. Στο R. Casati, B. Smith, & G. White (Επιμ.), *Philosophy and the Cognitive Sciences. Proceedings of the 16th International Wittgenstein Symposium* (σσ. 423–442). Vienna: Hölder-Pichler-Tempsky.
- Welty, C., & McGuinness, D. (2004, February). OWL Web Ontology Language Guide. *W3C recommendation.*

